



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikakolledž

Martin Ernits

**VÄIKESEMÕÕDULISE MEHITAMATA
MAISMAASÕIDUKI PROTOTÜÜPIMINE**

PROTOTYPING OF A SMALL UNMANNED GROUND VEHICLE

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: lektor Erkki Jõgi, MSc

Tartu 2021

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwald 1, Tartu 51014		Rakenduskõrgharidusõppe lühikokkuvõte		lõputöö
Autor: Martin Ernits		Õppekava: Tehnotroonika		
Pealkiri: Väikesemõõdulise mehitamata maismaasõiduki prototüüpimine				
Lehekülgi: 72	Jooniseid: 15	Tabeleid: 1	Lisasid: 1	
Osakond: Tartu Tehnikakolledž Uurimisvaldkond: T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering Juhendajad: Erkki Jõgi Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021				
Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida CAD programmis prototüüp väikesemõõdulise mehitamata maismaasõidukist. Antud lõputöös uuriti ajalugu ja tehti turuülevaade, seati projekteerimise tingimused, teostati ajami ja konstruktsiooni tugevus arvutusi, arvutati ajami voolutarve, kirjeldati koostamist ja juhtsüsteemi.				
Märksõnad: UGV, ajam, voolutarve, tugevusarvutus				

ABSTRACT

Estonian University of Life SciencesKreutzwald 1, Tartu 51014		Abstract of Professional Higher Education Thesis	
Author: Martin Ernits		Speciality: Technotronics	
Title: Prototyping of a small unmanned ground vehicle			
Pages: 72	Figures: 15	Tables: 1	Appendixes: 1
Department: College of Technology Field of research: T125 Automation, robotics, control engineering Supervisors: Erkki Jõgi Place and date: Tartu 2021			
The goal of this research project is to design a prototype of a small unmanned ground vehicle in a CAD program. In this dissertation, the history was studied, and a market overview was made, the design conditions were set, the transmission and construction strength calculations were performed, the power consumption of the transmission calculated, the assembly and control system were described.			
Keywords: UGV, transmission, power consumption, strength calculation			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
MÕISTED JA LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	7
1. VALDKONNA ÜLEVAADE.....	9
1.1 Mis on mehitamata maismaasõiduk?.....	9
1.2 Ajalugu	9
1.3 Kaasaeg.....	10
2. PROJEKTEERIMISE TINGIMUSTE SEADMINE.....	12
2.1 Tingimused	12
3. AJAMI ANALÜÜS	14
3.1 Ajami analüütilise disaini mudel	14
3.2 Sobiliku tigureduktori leidmine.....	16
3.3 Valitud siduri kirjeldus	18
3.4 Ajami kiirus	19
4. AJAMI VOOLUTARVE.....	21
5. KONSTRUKTSIOON TUGEVUSARVUTUSED	23
6. JUHTIMINE JA KOOSTAMINE	32
KOKKUVÕTE	35
SUMMARY	36
LISAD	40
Lisa A – Tehnilised Joonised.....	41

MÕISTED JA LÜHENDID

CAD	-	raalprojekteerimine (<i>Computer-Aided Design</i>)
D_{veo}	-	veoratta diameeter m
DIR	-	pööramis suuna signaal
$E_{akupank}$	-	akupanga energiahulk J
F_F	-	ühe roomiku staatiline hõõrdejõud N
$F_{kaldpind}$	-	kaldel mõjuv jõud N
F_w	-	seadme kaal N
g	-	raskuskiirendus m/s^2
$I_{juhtseade}$	-	ühe juhtseadme voolutarve A
$i_{kasulik}$	-	minimaalne kasulik tigureduktori ülekanne
$i_{valitud}$	-	kataloogist valitud tigureduktori ülekanne
I/O	-	sisend/väljund (<i>Input/Output</i>)
m	-	masina täismass kg
Nema	-	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
$P_{juhtseade}$	-	juhtseadme võimsus W
PUL	-	pööramis kiiruse signaal
PWM	-	pulsilaiusmodulatsioon (<i>Pulse-Width Modulation</i>)
$Q_{akupank}$	-	akupanga mahutavus Ah

t_{aku}	-	masina töötamise aeg akult s
$U_{akupank}$	-	akupanga klemmiping V
UGV	-	mehitamata maismaasõidukite (<i>unmanned ground vehicle</i>)
V	-	teoreetiline maksimaalne kiirus km/h
η	-	kasutegur
$\eta_{akupank}$	-	akupanga kasutegur
$\eta_{juhtseade}$	-	juhtseadme kasutegur
μ	-	hõõrdetegur
τ_F	-	ühe roomiku kohta tekitatud moment N×m
$\tau_{kataloog}$	-	kataloogi toote maksimaalne lubatud moment N×m
τ_{mootor}	-	mootori nimimoment N×m
ω_{mootor}	-	samm-mootori pöörlemise kiirus rad/s
$\omega_{väljund}$	-	veoratta pöörlemiskiirus rpm

SISSEJUHATUS

Mehitamata maismaasõidukite (lühend UGV) valdkond on suur ja lai ning pidevalt arenev. Ülemaailmselt kasvab UGV turg prognoositavalt aastaks 2030 ligi kaks korda [1]. Lisaks esialgsele militaar kasutusvaldkonnale (nt otsing ja pääste, sihtmärgi jälgimine [2]) on UGV-d hakatud kasutama ka kaubandusvaldkondades ja tsiviilrakendustes, millest tuleneb ka turu prognoositav kasv [1]. Juba praegu võib kodudes kohata erineval otstarbel kasutatavaid mehitamata maismaasõidukeid. Näiteks on tsiviilrakendustes kasutuses toas töötavad robottolmuimejad ja õues robotniidukid.

Mehitamata maismaasõidukid on robotisüsteemid, mis funktsioneerivad maismaal ilma pardal juhtiva operaatorita [3]. UGV-d võivad olla autonoomsed, sellel juhul liiguvad UGV-d kindlaks määratud teekonnapunktide vahel, või neid saab kaugjuhtida näiteks fikseeritud juhtimisjaama kaudu [3]. Antud töös keskendutakse sellisele UGV prototüübile, mida saab juhtida fikseeritud juhtimisjaama kaudu (raadio teel juhitud). UGV-de väljatöötamine ning disain on keeruline, sest see hõlmab elektroonika ja mehaanika integreerimist ning arvutitehnoloogia ja arenenud protsessoriarenduste kombinatsiooni [4][2]. Robootika on inimesi aidanud igapäevaste ülesannete täitmisel, sest robotid on loodud töötama igas keskkonnas (nt erinevad välitingimused) [4][5], millele ka käesolevas töös keskendutakse.

Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida CAD programmis prototüüp väikesemõõdulise mehitamata maismaasõidukist. Töö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgnevad ülesanded:

1. ajaloo ja kaasaja uurimine;
2. projekteerimise tingimuste seadmine;
3. ajami arvutamine;
4. konstruktsiooni tugevuse arvutamine;
5. ajami voolutarve arvutamine;
6. juhtsüsteemi kirjeldamine.

Eelnevalt loetletud nõuete alusel selgitati välja erinevaid võimalusi prototüübi projekteerimiseks.

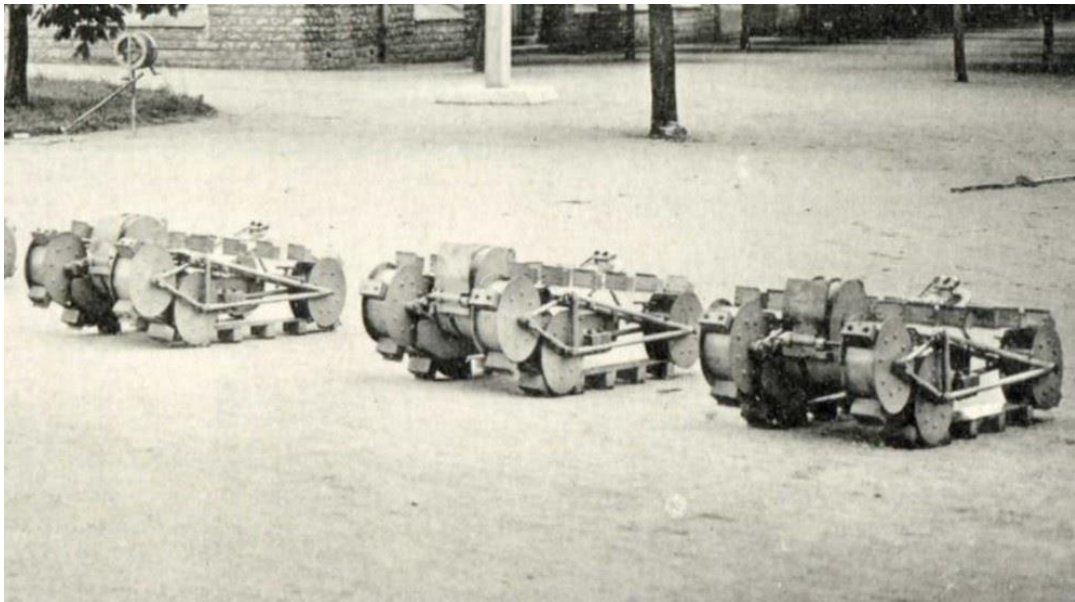
1. VALDKONNA ÜLEVAADE

1.1 Mis on mehitamata maismaasõiduk?

Mehitamata maismaasõiduk (UGV) on sõiduk, mis töötab mis tahes maastikul ning mida saab juhtida pardal oleva inimeseta [5][6]. UGV masinad jagunevad kaheks: kaugjuhitavad UGV-d ja autonoomsed UGV masinad [7]. Autonoomne UGV on intelligentne, mis plaanib ja tegutseb ratsionaalselt, et saavutada eesmärk inimesega suhtlemiseta; kaugjuhitavad UGV masinad ei plaani ise, kuid saadavad andmed operaatorile ning toimivad vastavalt operaatori otsusele [7] [8]. UGV-sid kasutatakse paljudes rakendustes, kus inimesel võib olla ebamugav, ohtlik või kus inimese olemasolu on võimatu [5]. Kuna UGV-d on võimelised töötama väga erinevates töötingimustes, siis on vaja UGV-d kindlalt ning täpselt kontrollida, mille jaoks on vaja välja töötada UGV täpne matemaatiline mudel [5][6].

1.2 Ajalugu

Esimesed mehitamata maismaasõidukid arendati ja ehitati militaartarbeks. Üheks esimeseks UGV-ks võib pidada 1915. aastal Prantsusmaal ettevõtte Schneider poolt loodud seadet. Selle mõõtmed olid 1,66 m x 0,82 m x 0,6 m (pikkus, laius, kõrgus). Seadme massiks oli 142 kg, kus 40 kg oli mõeldud veose jaoks. Tänapäevasega võrreldes oli see suhteliselt piiratud oma võimete poolest, alustades sellega, et selle juhtimine ei olnud kaugjuhitav, vaid seda juhiti juhtmete abil. Elektrimootoreid juhiti lihtsalt neid sisse välja lülitades. Seda suudeti juhtida 120 meetri kaugusele [9][10].



Joonis 2.1. Ettevõtte Schneider poolt loodud esimene UGV [10].

Ka Nõukogude Liit töötas välja UGV 1930. aastal. Selle tööraadius oli 500 – 1500 meetrit. Kandevõime oli 200 – 700 kg [11].

Teise maailmasõja ajal kasutasid sakslased rindel UGV sarnast masinat nimega Goliath. Masina nime taga peitub väikesemõõtmeline masin, mille kandevõime oli kuni 60 kg. Selle juhtimine toimus kolme juhtkangi abil, kaks kangi mootorite liigutamiseks ja pööramiseks ning kolmas lõhkelaengu lõhkamiseks. Nende eesmärk oli vaenlane hävitada. Kokku toodeti 7654 Goliathit. Algul toodeti neid elektrimootorite peal töötavana, ent hiljem mindi bensiini mootori peale üle [12].

1.3 Kaasaeg

Robottehnoloogia eelised suurenevad, kui UGV-d edasi arendatakse, näiteks väheneb siis inimeste sekkumine robotite töös ja väheneb ka rohelise energia kasutamine täiselektrilistes UGV-des [13]. Üleüldiselt on teadlased võtnud eeskujuks erinevaid loomi (nt koer) ja putukaid, kelle näitel töötada välja masinaid, mis kõnnivad karmil maastikul [14]. UGV tehnoloogia on arenenud ning roomikute ja rataste kasutamise kõrval on välja arendatud ka jalgadel UGV, mis meenutab koera ning on disainitud orgaanilise ja elulaadse liikumisega, mis võimaldab läbida ebaühtlast ja ettearvamatut maastikku [15]. Sellise UGV on välja

arendanud Boston Dynamics ja see kannab nime Spot. Boston Dynamicsile on tee rajanud esimeste mehitamata sõidukite seas arendatud vedrustussõiduk (ASV) 1985. aastal, Ohio osariigi ülikoolis, ning see on kõige keerukam kunstjalgadega liikumissüsteem, mida siiani proovitud on [16].

2. PROJEKTEERIMISE TINGIMUSTE SEADMINE

2.1 Tingimused

Projekteerimisel ja arvutuste teostamisel tuleb arvestada järgmiste asjaoludega:

1. kasutama peab Nema 34 86HB250-156B samm-mootorit;
2. kasutama peab samm-mootori juhtseadet HBS860H;
3. kasutama peab roomikut suurusega 180x72x40;
4. masina kaal peab olema alla 200 kg;
5. masina kasulikkoormus peab olema 150 kg.
6. veoratta läbimõõt on 400 mm.
7. kasutatakse kolme pliikakut pingega 12 V ja mahutavusega 60 Ah.

Oluline on märkida, et Nema 34 on mootori kinnitusplaadi suurus. National Electrical Manufacturers Association (Nema) seab elektritoodetele erinevaid standardeid, sealhulgas ka samm-mootoritele. See võimaldab vahetatavust erinevate firmade poolt toodetud mootorite seas, ilma et peaks ümber projekteerima mootori kinnitusi [17].

2.2 Mehaaniline kirjeldus

Arendatav prototüüp koosneb kahest suuremast osast: kere ja roomiku raam. Kere ja roomiku raam on omavahel ühendatud poltliidete kahest punktist, mis võimaldab modulaarsust. Projekteeritava masina osad peavad olema üksteisest eraldatavad, mis võimaldab lahti võetuna seda transportida.

Kere raam on keeviskoostatud ja koosneb nelikantprofiilist. Raami peal on täies ulatuses terasplaat, kuhu külge on kinnitatud poltliidete tiguvedurid, samm-mootorid, juhtseadmed ja akud. Roomiku ülekandeks kasutatakse ajamit, mis koosneb samm-mootorist, tiguvedurist ja elastset sidurist. Veoratas on roomiku osa, mille võll on ühendatud elastse siduriga.

Roomiku raam koosneb keeviskoostatud nelikantprofiilist ja kahest painutatud terasplaadist. Veoratta võll kinnitub pukklaagrile. Ratasteks kasutakse ostutooteid, mille sees on juba laagrid olemas. Need kinnitatakse võllile ja fikseeritakse stopperrõnga abil. Roomiku raamil on olemas pingutussüsteem, mis võimaldab roomiku peale panemist ja eemaldamist, samuti võimaldab see kompenseerida roomiku venimist ajas.

3. AJAMI ANALÜÜS

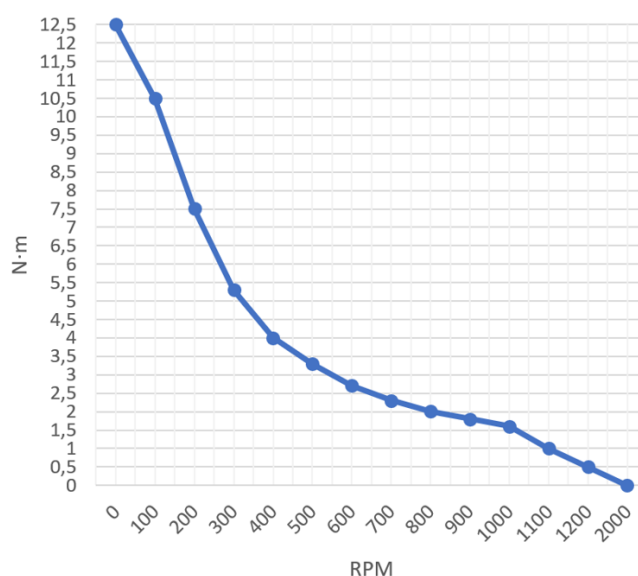
3.1 Ajami analüütilise disaini mudel

Masina võimsus on seotud otseselt massiga, mida tahetakse liigutada. Sellest tulenevalt määratakse masina andmed soovitud tingimuste täitmiseks.

Üldandmed on järgmised:

1. masina mass 200 kg;
2. kasulik koormus 150 kg;
3. samm-mootori 86HB250-156B väljundmomendiks valitakse 5,3 N×m (vaata graafikut 3.1).

Samm-mootori poolt arendatav moment sõltub selle pöörlemiskiirusest. Mootori näidatud nimimoment on kas väga väikeste pöörete juures või paigal olekus [18]. Antud mootori tootja andmelehel leitava graafikul (vt graafik 3.1) on näha, kuidas pöörete suurenemisel moment väheneb [19]. Samuti on graafikult loetav, et tootja poolt antud nimimoment on null pöörete puhul kõige kõrgem.

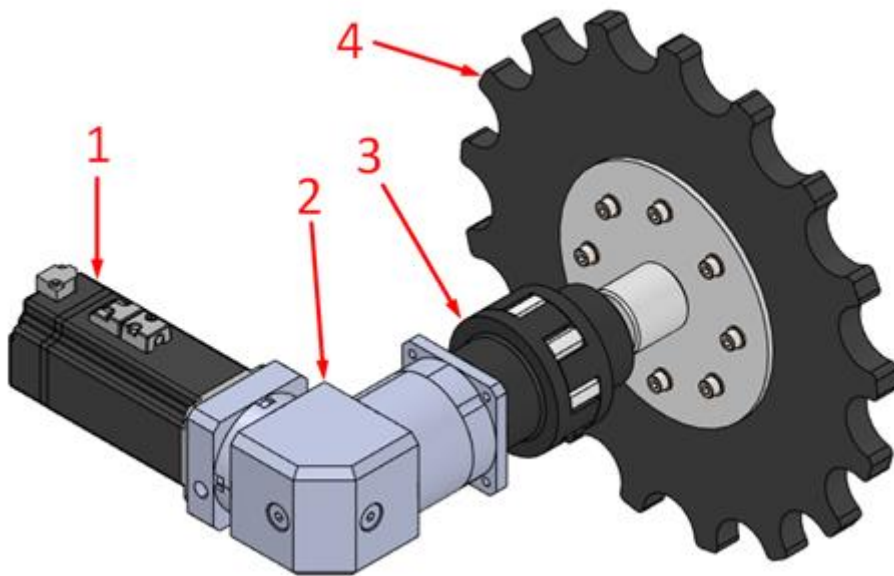


Joonis 4.1. Samm-mootori arendatava momendi sõltuvus kiirusest [19].

Sellest tulenevalt valiti samm-mootori momendiks $5.3 \text{ N}\times\text{m}$, millest tulenevalt on võlli pöörlemise kiirus 300 min^{-1} .

Spetsiifilisemad andmed on leitavad alampeatükkides sooritatud arvutustest.

Projekteeritav ajam on nähtav järgnevalt jooniselt 4.1.



Joonis 4.2. Projekteeritav ajam: 1- samm-mootor; 2- tigureduktor; 3- elastne sidur; 4- veoratas.

Projekteeritava masina ajam koosneb samm-mootorist, tigureduktorist, elastsest sidurist ja veovõllist. Töomasina osa on veoratas. Antud juhul on oluline arvutada välja seadmele sobilik tigureduktor ja seejärel leida sobilik elastne sidur, lähtudes etteantud andmetest ja tingimustest.

Ajam peab masina liigutamiseks ületama viite resultantjõudu:

1. veeretakistus;
2. aerodünaamilist takistust;
3. sisemisi hõõrdejõude;
4. kallete läbimisel tekkivaid gravitatsiooni jõude;
5. inertsijõude kiirendamisel [20].

Oluline on märkida, et teostatakse teoreetilisi arvutusi, kus ei arvestata erinevaid resultantjõude. Antud juhul ei võeta arvesse aerodünaamilist takistust, sisemisi hõõrdejõude ja inertsijõude kiirendamisel.

3.2 Sobiliku tigureduktori leidmine

Järnevas peatükis teostatakse arvutusi, et leida sobilik tigureduktor etteseadud kriteeriumite täitmiseks. Seatud kriteeriumitest on teada, et masina täismaass on 350 kg. Seadme massile tekitab gravitasioon kaalu, mida kirjeldab võrrand:

$$F_w = m \times g = 350 \times 9,81 = 3432,328 \text{ N}, \quad (4.1)$$

kus F_w on seadme kaal N,

m - masina täismass kg;

g - raskuskiirendus m/s^2 .

Välja on arvutatud ka kaldpinnal mõjuv jõud 45 kraadise nurga all, mida kirjeldab järgmine võrrand:

$$F_{kaldpind} = F_w \times \cos \alpha = 3432,328 \times \cos 45 = 2920,58 \text{ N}, \quad (4.2)$$

kus $F_{kaldpind}$ on kaldel mõjuv jõud N,

F_w - seadme kaal N;

$\cos \alpha$ - kaldenurgast koosinus.

Sobiliku tigureduktori leidmiseks tuleb arvestada hõõrdejõuga, mille puhul soovitakse masinaga sõita. Sellest tulenevalt on võetud eesmärgiks liigutada kogu masina täismassi kuiva asfaldi peal. Tegu on kõige karmima tingimusega, kus masinaga sõita, sest hõõrdejõu tegur on kõige suurem. Roomiku materjali ehk kummi ja kuiva asfaldi vahel on hõõrdejõu teguriks ehk hõõrdeteguriks $\mu = 0,9$ (staatiline hõõre) [21].

Staatilist hõõrdejõudu ühe roomiku kohta kirjeldab võrrand:

$$F_F = \mu \times \frac{F_w}{2} = 0,9 \times \frac{3432,328}{2} = 1544,547 \text{ N}, \quad (4.3)$$

kus F_F on ühe roomiku staatiline hõõrdejõud N,

μ - hõõrdetegur;

F_w - seadme kaal N.

Otsitava tigureduktori minimaalset momenti iseloomustab järgmine võrrand:

$$\tau_F = \frac{D_{veo}}{2 \times F_F} = \frac{0,4}{2 \times 1544,547} = 308,909 \text{ N} \times m, \quad (4.4)$$

kus τ_F on ühe roomiku kohta tekitatud moment N×m,

D_{veo} - veoratta diameeter m;

F_F - ühe roomiku staatiline hõõrdejõud N.

Võttes arvesse varem välja toodud mootori nimimomenti $\tau_{mootor} = 5,3 \text{ N} \times m$ saab leida sobiliku tigureduktori. Arvestada tuleb, et tigureduktori kasutegur on $\eta = 0,92$ [22].

Minimaalse kasuliku tigureduktori ülekannet kirjeldab järgmine võrrand:

$$i_{kasulik} = \frac{\tau_{mootor} \times \eta}{\tau_F} = \frac{5,3 \times 0,92}{308,909} = 0,016 \rightarrow \frac{1}{60}, \quad (4.5)$$

kus $i_{kasulik}$ on minimaalne kasulik tigureduktori ülekanne,

τ_{mootor} - mootori nimimoment N×m;

η - kasutegur;

τ_F - ühe roomiku kohta tekitatud moment N×m.

Tutvudes Newgear reduktorite kataloogiga, siis kõige sobilikum tigureduktor on PVF120 seeriasse kuuluv reduktor nii mõõdu kui massi poolest [22]. Kuna arvutatud minimaalne kasulik tigureduktori ülekanne on suhtele 1:61, siis valiti kataloogist sobivamaks tigureduktori ülekande suhteks 2:50, sest see on kataloogist pakutavatest sobivam, nii

ülekanne suhte poolest, kui ka väändemomendi poolest. Newgear reduktorite kataloogist otsitud kasulik info on koondatud järgnevasse tabelisse 4.1.

Tabel 4.1. Reduktori nimiparameetrid [22].

Seeria	PVF120		
	Aste	Suhe	Nimimoment
	L2	50	210
	L2	70	170
Effetiikvus (%)	92		
Mass (kg)	14		
Maksimaalne moment	1,5 * nimimoment		

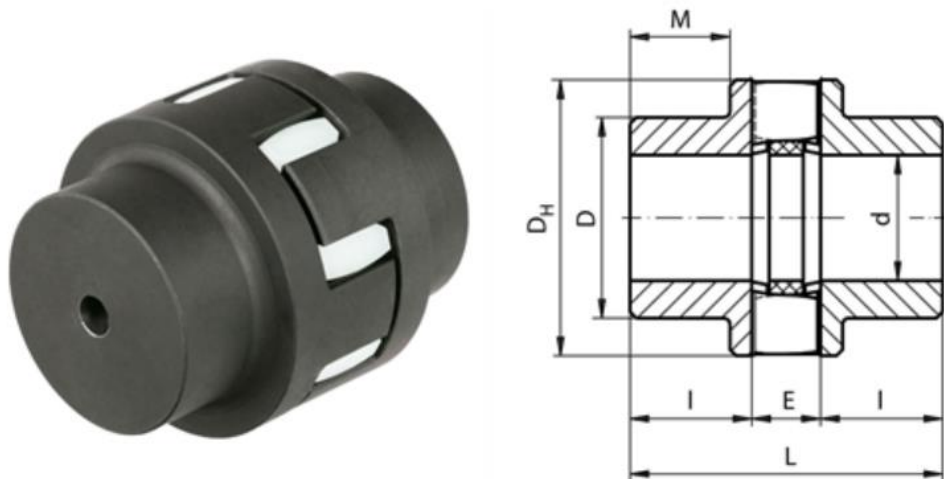
Kataloogist valiti välja tigureduktor 2:50 seepärast, et maksimaalse momendi puhul ei ületa see tehase poolt etteantud maksimaalset momenti (vt tabelist 4.1). Varasemalt leitud ühe roomiku maksimaalseks paigaltvõtumonendiks on $\tau_F = 308,909 \text{ N} \times m$, kataloogi toote maksimaalseks lubatud momendiks on $\tau_{kataloog} = 315 \text{ N} \times m$ (valem 4.5). Oluline on märkida, see maksimaalne moment esineb siis, kui masin alustab täismassiga liikumist kuival asfaldil.

3.3 Valitud siduri kirjeldus

Siduri eesmärk on kanda pöörlemiskiirust edasi ühelt võllilt teisele. Samuti võimaldab sidur kompenseerida telgedel tekkinud nihet ja vähendada ootamutult tekkinuid koormusi. Elastse siduri painduvas osas kasutatakse plastikust või kummist valmistatud elementi, mis on ka kompenseerivaks osaks temperatuuri muutustele [23].

Ajami ja veovõlli ühendamiseks kasutatakse elastset sidurit. Elastse siduri puhul on oluline jälgida kahte tegurit, nominaalset momenti ja maksimaalset momenti, mõlema ühikuks on $\text{N} \times m$. Oluline on jälgida, et varasemalt arvutatud moment ei ületaks tootja poolt ettenähtud nominaalmomenti. Varasemalt arvutatud ühe roomiku maksimaalne moment saadi $\tau_F = 308,909 \text{ N} \times m$ (valem 4.5).

Mädleri kataloogist valiti välja elastne sidur tootjakoodiga 60403801, mida on ka kujutatud järgneval joonisel 4.2 [24].



Joonis 4.2. Elastne sidur Mädleri kataloogist.

Valitud elastse siduri näitajad on järgmised:

- 1) nominaalne pöördemoment on 325 N×m.
- 2) maksimaalne pöördemoment on 650 N×m [24].

3.4 Ajami kiirus

Antud alapeatükis leitakse seadme teoreetiline maksimaalne kiiruse ja selleks kuluv aeg, arvestades, et ükski takistav resultantjõud ei mõju seadmele. Peatükis 4.1 on mainitud, et samm-mootori pöörlemiskiirus on $\omega_{mootor} = 300 \text{ rpm}$ ja peatükis 4.2 valiti välja tigureduktor, mille ülekanne on $i_{valitud} = \frac{1}{50}$.

Tigureduktori väljundvõlli kiirust kirjeldab järgmine võrrand:

$$\omega_{väljund} = \frac{\omega_{mootor}}{i_{valitud}} = \frac{300}{\frac{1}{50}} = 6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad (4.6)$$

kus $\omega_{väljund}$ on veoratta pöörlemiskiirus rad/s,

ω_{mootor} - mootori pöörlemiskiirus rpm;

$i_{valitud}$ - valitud tigureduktori ülekanne.

Teades tigureduktori väljundvõlli kiirust, on võimalik leida teoreetiline maksimaalne kiirus, mida iseloomustab võrrand:

$$V = D_{veo} \times \frac{2 \times \pi}{60} \times \omega_{väljund} = 0,4 \times \frac{2 \times \pi}{60} \times 6 = 0,251 \frac{m}{s} \rightarrow 0,903 \frac{km}{h}, \quad (4.7)$$

kus V on teoreetiline maksimaalne kiirus km/h,

D_{veo} - veoratta diameeter m;

$\omega_{väljund}$ - veoratta pöörlemiskiirus rad/s.

Arvutatud teoreetiline maksimaalne kiirus saavutakse siis, kui masin liigub täismassiga ehk masina enda kaal on 200 kg ja kasulik koormus on 150 kg.

4. AJAMI VOOLUTARVE

Masina samm-mootori juhtseade töötab kas vahelduv- või alalisvooluga. Juhtseadme andmelehel on välja toodud töötamispinge:

1. vahelduvvoolu korral 20 – 63 V.
2. alalisvoolu korral 30 - 90 V [25].

Lähtuvalt andmeleheltsaadud infole kasutatakse kolme 12 V pliikakut mahutavusega 60 Ah jadamisi ühendatuna, mille tulemusena on akupanga töötamispingeks 36 V ja mahutavuseks 60 Ah.

Juhtseadme voolutarve sõltub samm-mootori voolutarbest, milleks on 6 A [19][25]. Kuna puudub teadaolev kasutegur, siis määrame selle ise $\eta_{juhtseade} = 0,8$.

Sellest tulenevalt arvutame ühe juhtseadme võimsuse, mida iseloomustab järgnev võrrand:

$$P_{juhtseade} = U_{akupank} \times I_{juhtseade} \times \eta_{juhtseade} = 36 \times 6 \times 0,8 = 172,8 \text{ W} , \quad (5.1)$$

kus $P_{juhtseade}$ on juhtseadme võimsus W,

$U_{akupank}$ - akupanga klemmiping V;

$I_{juhtseade}$ - ühe juhtseadme voolutarve A;

$\eta_{juhtseade}$ - juhtseadme kasutegur.

Leiame akupanga energiahulga järgmise võrrandiga:

$$E_{akupank} = U_{akupank} \times Q_{akupank} \times \eta_{akupank} = 36 \times 60 \times 0,5 = 3888000 \text{ J} , \quad (5.2)$$

kus $E_{akupank}$ on akupanga energiahulk J,

$U_{akupank}$ - akupanga klemmiping V;

$Q_{akupank}$ - akupanga mahutavus Ah;

$\eta_{akupank}$ - akupanga kasutegur.

Teades akupanga energiahulka ja ühe juhtseadme võimsust, saame leida aja, mida iseloomustab järgmine võrrand:

$$E_{akupank} = (P_{juhtseade} \times 2) \times t_{aku} \rightarrow t_{aku} = \frac{E_{akupank}}{P_{juhtseade} \times 2} = \frac{3888000 \times 0,3}{172,8 \times 2} = \quad (5.3)$$

$$3375 \text{ s} \rightarrow 56,25 \text{ min} ,$$

kus t_{aku} on masina töötamise aeg akult min,

$E_{akupank}$ - akupanga energiahulk J;

$P_{juhtseade}$ - juhtseadme võimsus W.

Masin on töötama eelnimetatud akupangaga, mille pinge on 36 V ja mahutavus 60 Ah, kokku 56 minutit.

5.KONSTRUKTSIOON TUGEVUSARVUTUSED

Masin koosneb kahest erinevast raamist, üheks on kere raam ja teine roomiku raam ning nende eemärkideks on:

1. tagada konstruktsiooni vastupidavus;
2. Vastupidavus tõmbetugevusele ja kandekoormusele.

Roomiku raam on kere raamist lihtsasti lahti monteeritav. Tugevusarvutustel ei teostatud väändearvutusi, kuna eeldatakse, et masina pööramisel mõlemad roomikud liiguvad, mistõttu ei teki raamile väände korral lisakoormusi.

5.1 Profiili ja materjali valik

Roomiku kui ka kere raam on võimalik valmistada nelikanttorust või ümara profiiliga torust. Nelikanttoru profiili puhul on eeliseks töötamise lihtsus – kergesti projekteeritav ja eeldab ainult materjali lõikamist ning keevitamist. Ümarat profiili on keeruline projekteerida ja üldjuhul painutamise ei pääse, mistõttu on seda kulukas seda valmistada (VIIDE).

Kere raami puhul on kasutusel nelikanttoru, mille mõõtmed on järgmised:

1. seinapaksus $a^1=3$ mm;
2. kõrgus $b^1=30$ mm;
3. laius $c^1=30$ mm.

Roomiku raami puhul on kasutusel kaks erimõõtmetega nelikanttoru. Esimene profiili mõõtmed on järgmised:

1. seinapaksus $a^2= 30$ mm;
2. kõrgus $b^2 = 50$ mm;
3. laius $c^2 = 25$ mm.

Teise profiili mõõtmed on järgmised:

1. seinapaksus $a^3 = 4$ mm;
2. kõrgus $b^3 = 40$ mm;
3. laius $c^3 = 40$ mm.

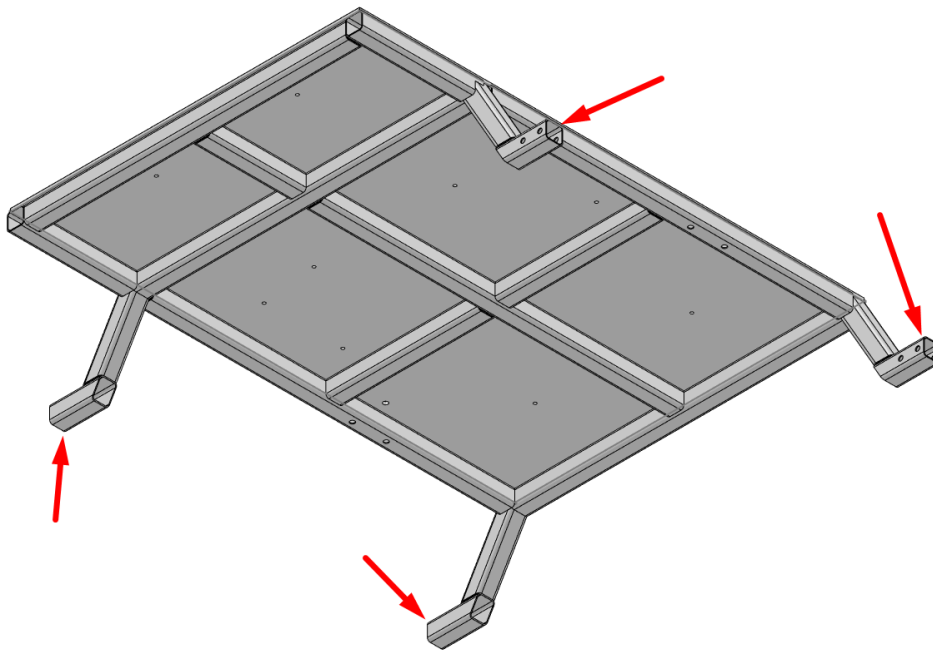
Lisaks on roomiku ja kere raami juures kasutusel terasplaat seinapaksusega 5 mm. Roomiku puhul on see painutatud. Roomiku raamil on veel kasutusel teraslatt, mille mõõtmed on järgmised:

1. seinapaksus $a^4 = 15$ mm;
2. laius $c^4 = 40$ mm.

Materjaliks valiti teras S355, millel on piisavalt head omadused ja mis on madala hinnaga ning lihtsalt töödeldav.

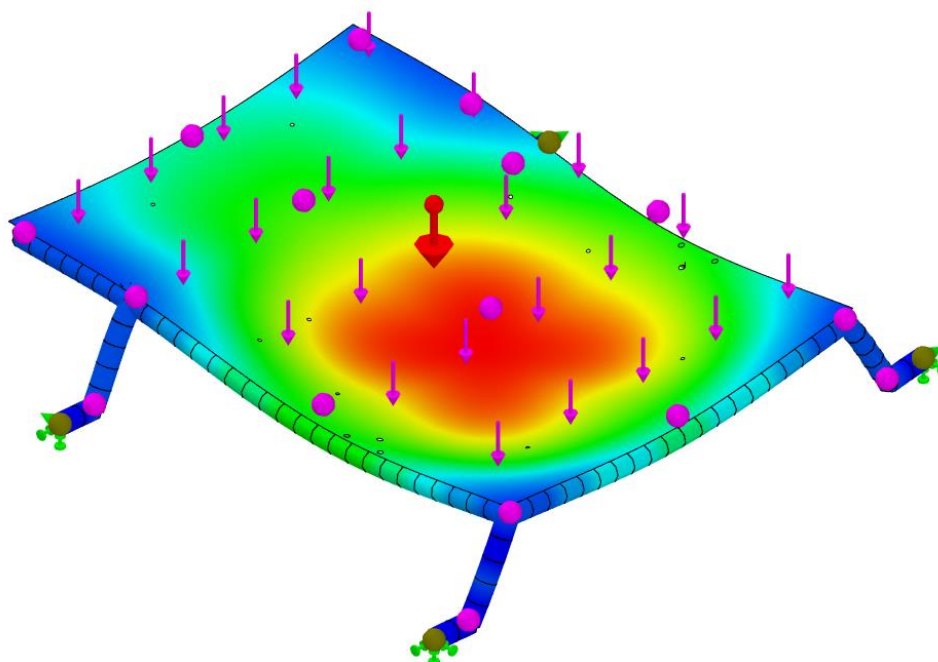
5.2 Kere raami tugevusarvutused

Kere raamile teostati tugevusarvutusi. Raami konstruktsioonile rakendati erinevatest suundadest jõude, vaata jooniseid 6.2 - 6.3. Vaadati, et kuidas raam käitub, kui raami tagaosa ja esiosa tõmmata erinevatel juhtudel kerest eemale, ning kuidas raam käitub, kui suunata jõud kere peale. Järgneval joonisel 6.1 on näidatud fikseeritud kohad, mis kinnituvad roomiku raamile.



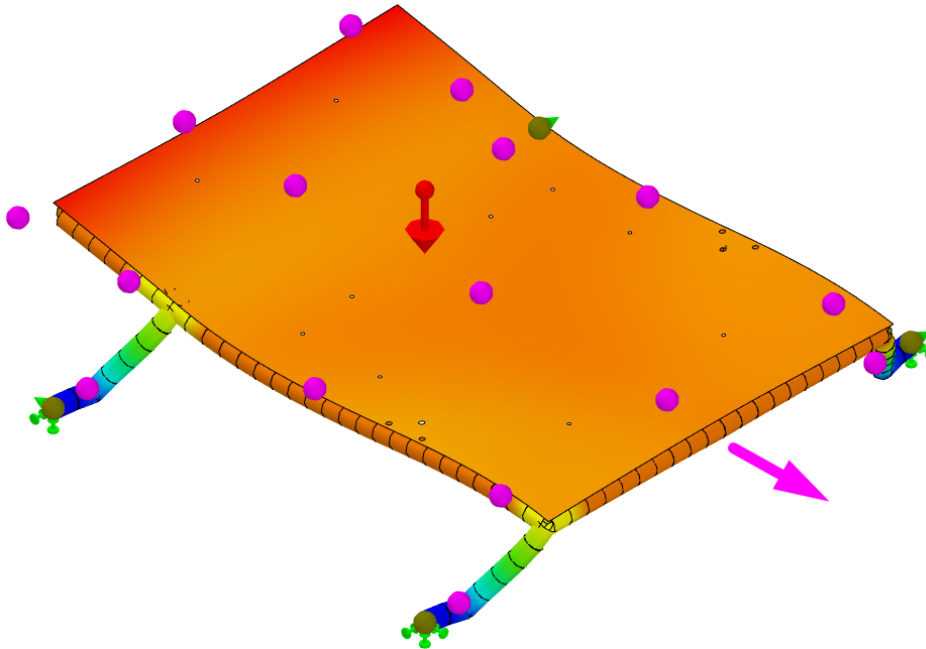
Joonis 6.1. Vaade kere raamile altpoolt, kus nooltega on näidatud roomiku raami kinnituselemendid.

Raamile tugevuse arvutamiseks rakendati sellele ülevalt alla koormus, milleks oli 5000 N ehk 510 kg.



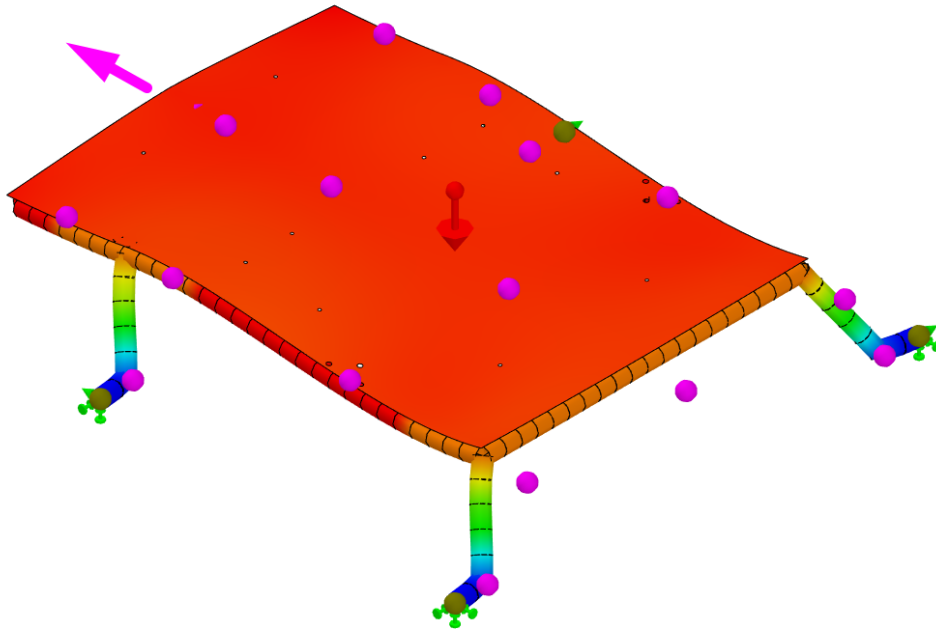
Joonis 6.2. Rakendatud jõud on tähistatud roosade nooltega ülevalt alla, punase noolega on näidatud raskusjõu suund, rohelised nooled tähistavad fikseeritud kohti.

Eelneval joonisel 6.2 on raamile rakendatud jõud 5000 N, mille tulemusena on kõige suurem deformatsioon 2 mm ja see on välja toodud punases alas. Arvestades rakendatud jõudu ja kasulikku koormust ei toimi etteantud 150 kg kasuliku koormusega mingit läbivajumist konstruktsioonis.



Joonis6.3. Rakendatud jõud on tähistatud roosa noolega raami keskelt kerest eemale, punase noolega on näidatud raskusjõu suund, rohelised nooled tähistavad fikseeritud kohti.

Eelneval joonisel 6.3 on raamile rakendatud jõud 5000 N ning selle suund on raami tagant osast eemale. Raami kõige suurem deformatsioon on 3 mm ja see on välja toodud punases alas. Arvestades rakendatud jõudu ja kasulikku koormust ei toimi etteantud 150 kg kasuliku koormusega mingit läbivajumist konstruktsioonis.

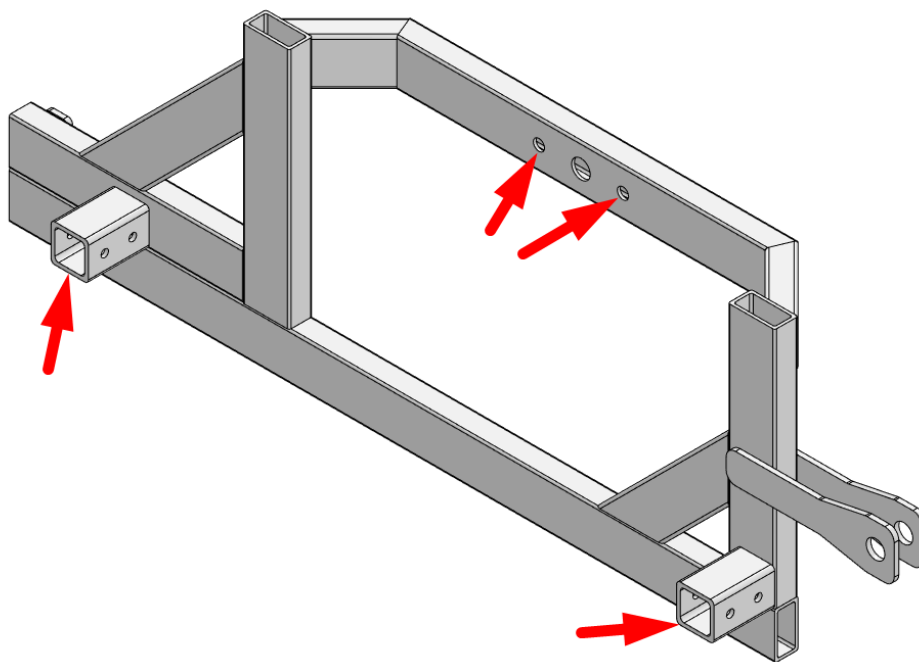


Joonis 6.4. Rakendatud jõud on tähistatud roosa noolega raami keskelt kerest eemale, punase noolega on näidatud raskusjõu suund, rohelised nooled tähistavad fikseeritud kohti.

Eelneval joonisel 6.4 on raamile rakendatud jõud 5000 N ning selle suund on raami eest osast eemale. Raami kõige suurem deformatsioon on 5 mm ja see on välja toodud punases alas. Kuna rakendatud jõud on 3,4 korda suurem kui ettenähtud, siis selline deformatsioon ei ole probleemiks.

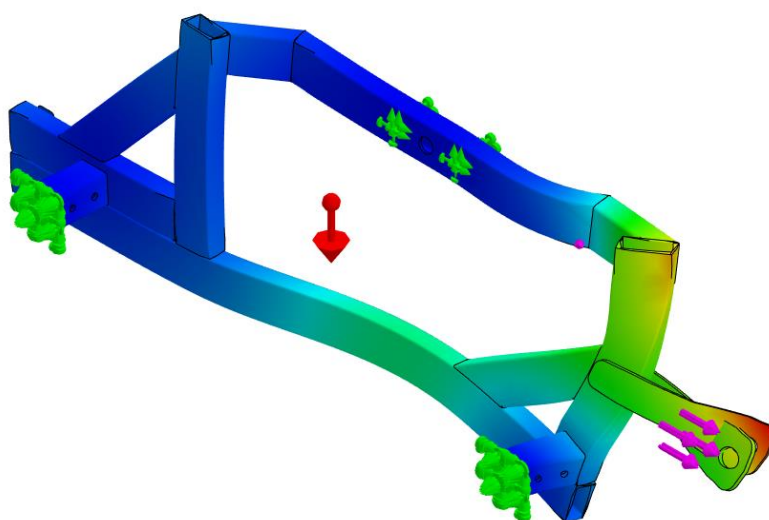
5.3 Roomiku raami tugevusarvutused

Roomiku raamile teostati tugevusarvutusi. Raami konstruktsioonile rakendati erinevatest suundadest jõude, vaata jooniseid 6.5-6.8. Prooviti, et kuidas raam käitub, kui raami tagaosa ja esiosa tõmmata erinevatel juhtudel kerest eemale, ning kuidas raam käitub, kui suunata jõud kere peale. Järgneval joonisel 6.5 on näidatud fikseeritud kohad, mis kinnituvad kere raamile ja veovõllile.

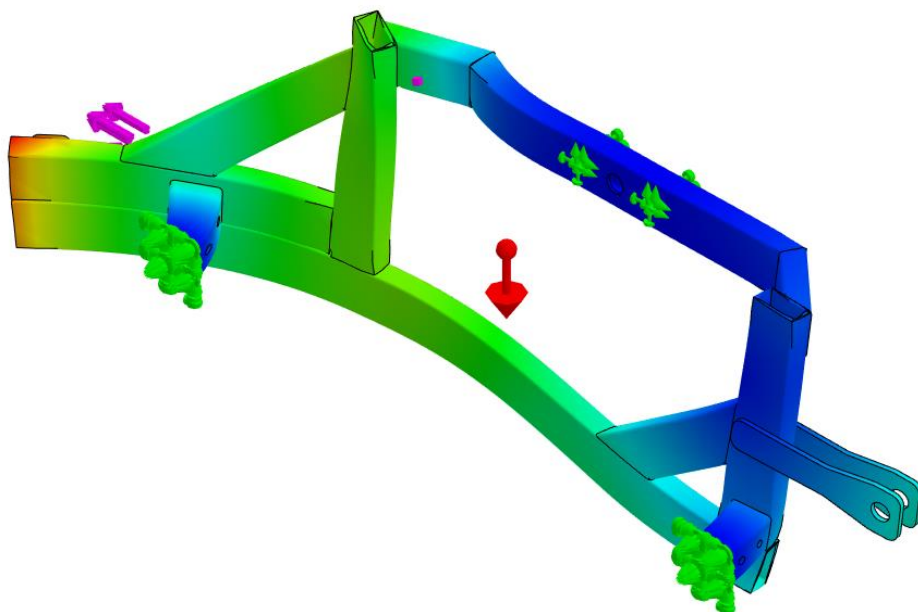


Joonis 6.5. Vaade roomiku raamile, kus nooltega on näidatud raami ja pukklaagri kinnituskohad.

Tugevuse arvutamiseks rakendati raamile koormus, milleks oli 5000 N ehk 510 kg ning selle suund on raami tagant osast eemale. Raami kõige suurem deformatsioon on 3,5 mm ja see on välja toodud punases alas (vaata joonist 6.6). Arvestades rakendatud jõudu ja kasulikku koormust võib järeldada, et etteantud 150 kg kasuliku koormusega mingit olulist muutust konstruktsioonis ei toimu.

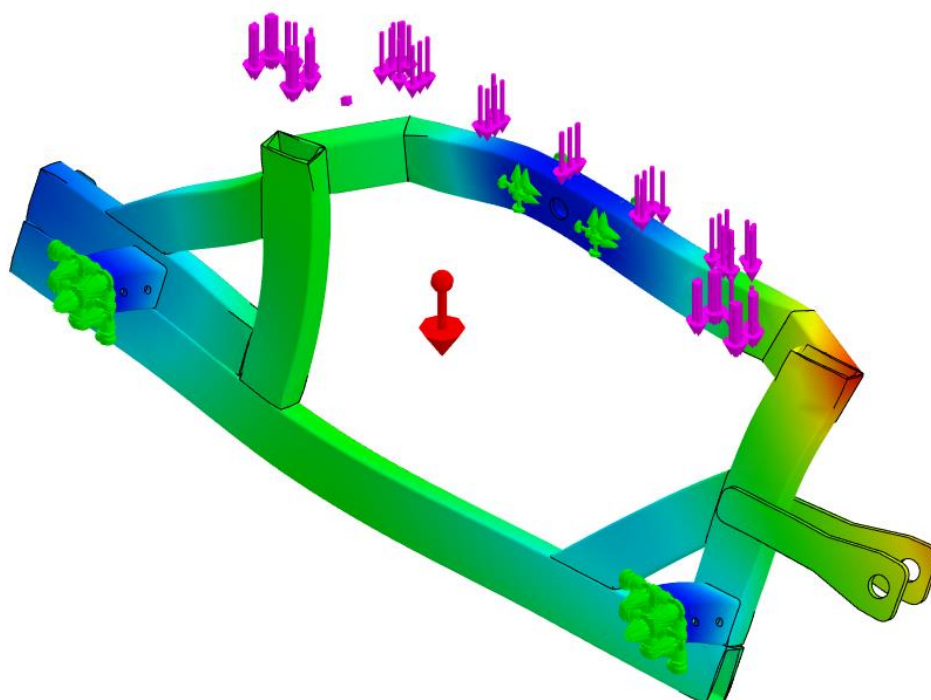


Joonis 6.6. Rakendatud jõud on tähistatud roosade nooltega raami keskelt kerest eemale, punase noolega on näidatud raskusjõu suund, rohelised nooled tähistavad fikseeritud kohti.



Joonis 6.7. Rakendatud jõud on tähistatud roosade nooledega raami keskelt kerest eemale, punase noolega on näidatud raskusjõu suund, rohelised nooled tähistavad fikseeritud kohti.

Raami kõige suurem deformatsioon on 2 mm ja see on välja toodud punases alas (vaata joonist 6.7). Arvestades rakendatud jõudu ja kasulikku koormust ei toimi etteantud 150 kg kasuliku koormusega mingit märgatavad deformatsiooni konstruktsioonis.



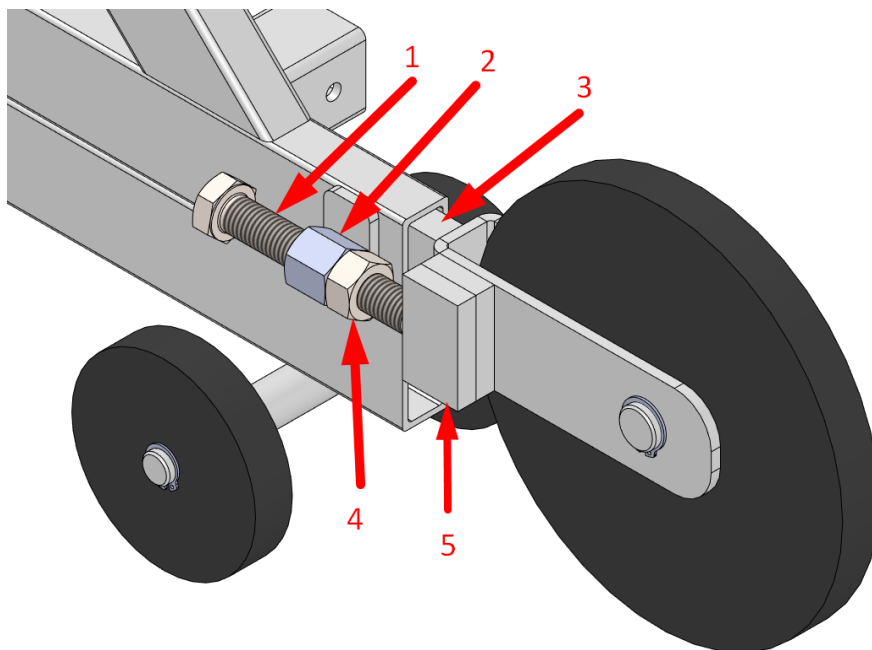
Joonis 6.8. Rakendatud jõud on tähistatud roosade nooltega raami keskelt kerest eemale, punase noolega on näidatud raskusjõu suund, rohelised nooled tähistavad fikseeritud kohti.

Raami kõige suurem deformatsioon on 6 mm ja see on välja toodud punases alas (vaata joonist 6.8). Arvestades rakendatud jõudu ja kasulikku koormust ei toimi etteantud 150 kg kasuliku koormusega mingit märgatavad deformatsiooni konstruktsioonis. Siinkohal peab arvestama, et tegu on erijuhtumiga, kus ühe roomiku ülemise serva peale langeb 510 kg koormus,

5.4 Roomiku pingutus

Vältimaks, et roomik jookseks raamilt maha ja veorattal ning vabalt jooksvatel ratastel ei oleks liigset pinget, tuleb kasutada pingutussüsteemi, et hoida konstanselt pinget. Ideaalne pingutussüsteem tagab vaatamata erinevatele olukordadele roomikule automaatse pinge nagu näiteks amort [26].

Antud töös kasutati fikseeritud pingeregulaatorit, mida tuleb enne igat sõitu kontrollida. Selle jaoks kasutatakse M16 polti, mida peale keerates liigub ratas väljapoole, mis pingutab roomikut (vaata joonist 6.9). Antud juhul on projekteeritud pingutuskäiguks maksimaalselt 100mm, mis võimaldab ka mugavalt ja lihtsalt raamile roomikut peale panna.

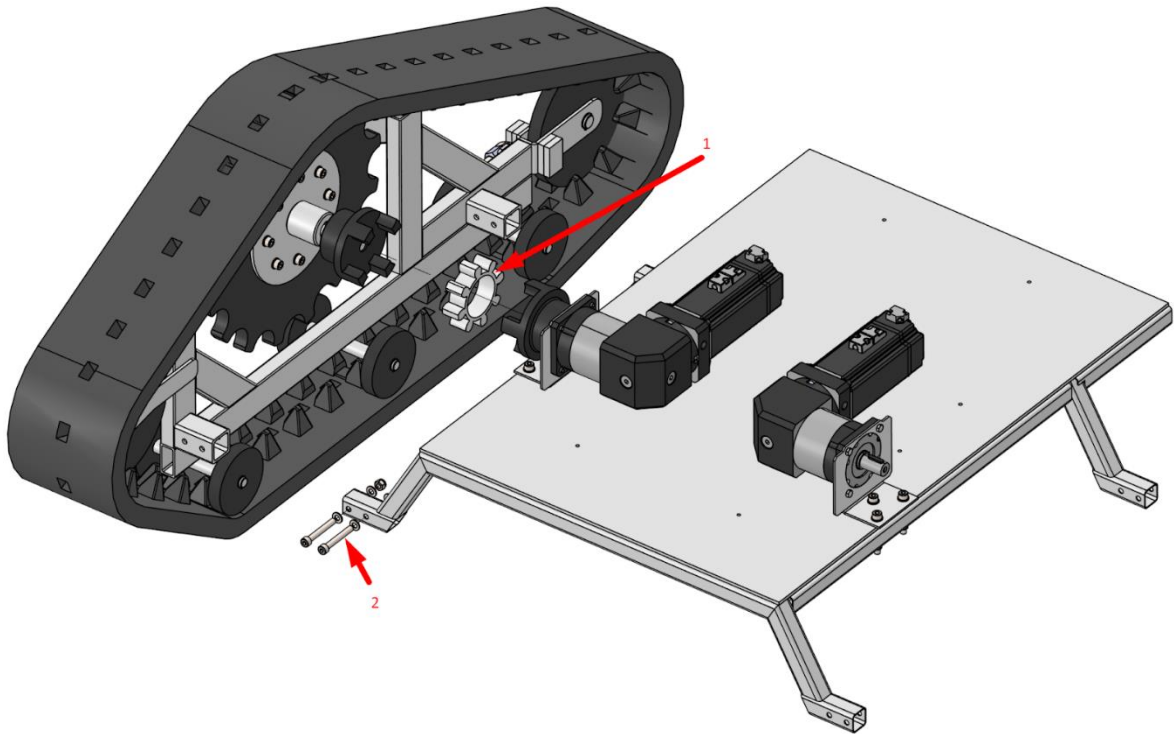


Joonis 6.9. Projekteeritud masina pingutussüsteem: 1- pingutuspolt M16; 2- raami küljes olev jätkumutter; 3- nn liugur; 4- lukustusmutter; 5- sein, mille vastu polt keeratakse.

Prototüüpmasina puhul tuleb enne igat kasutamist veenduda, et roomikul oleks pinge peal ja vajadusel tuleb seda juurde keerata vabastades lukustusmutri, seejärel tuleb polti keerata ning uuesti mutter lukustada (vaata joonist 6.9).

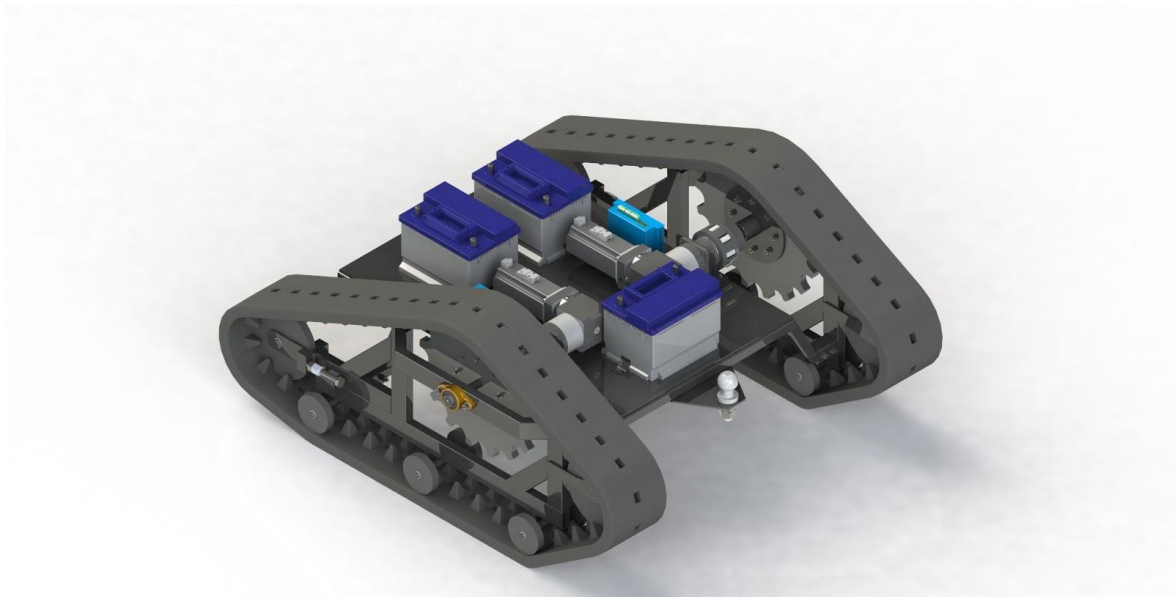
6. JUHTIMINE JA KOOSTAMINE

Masin koosneb kolmest suuremast osast. Esimene suurem osa on kere, kus paiknevad mootorid, juhtseadmed ja akud. Teine ja kolmas suurem osa on vasak ja parem roomik. Roomikud on eelkoostatud. Nende monteerimine on näidatud järgneval joonisel.



Joonis 7.1. Vasaku roomiku monteerimine kere külge. 1- kinnutusvahendid; 2- elastse siduri moodul.

Roomik monteeritakse kere kinnituselementide külge ja fikseeritakse poltliitega.



Joonis 7.2. Koostatud prototüübi masina 3D mudel.

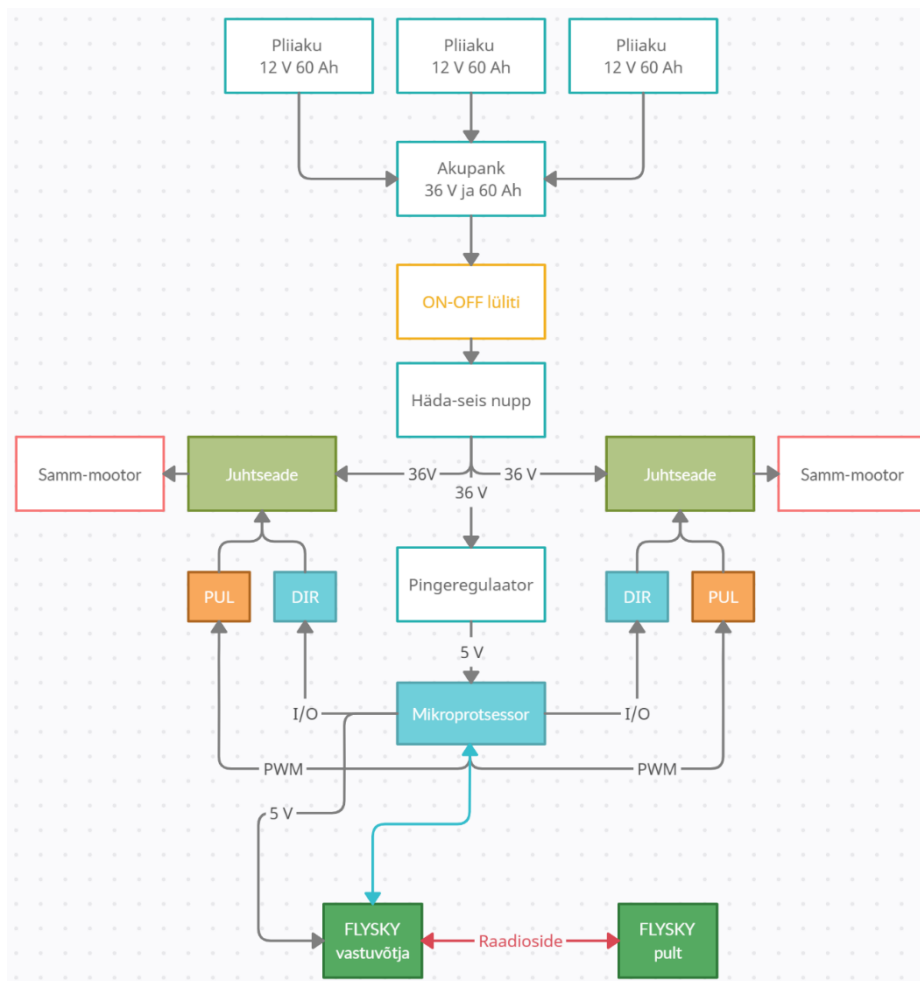
Antud töös ei pööratud tähelepanu juhtkoodi kirjutamisele ega ka kaabelduse projekteerimisele. Masina töötamise skeem on välja toodud joonisel 7.3.

Projekteeritud roomikmasina juhtimine on keeruline oma liikumise tõttu, näiteks kui tahetakse otse liikuda, siis peavad mõlemad roomikud liikuma võrdse kiirusega edasi. Sama probleem on ka pööramisega, sujuvat pööramist on keeruline teha, kuna see eeldab ühe roomiku kiiremat liikumist võrreldes teise roomikuga.

Antud prototüübi juures on plaanis kasutada juhtimiseks järgnevaid seadmeid:

1. ATmega328p mikroprosseri arendusplaati Arduino UNO-ga [27].
2. Masina juhtimiseks kasutatakse FlySky FS-I6x pulti koos vastuvõtjaga [29][28].

Üldine töötamise skeem on järgnevalt joonis välja toodud.



Joonis 7.3. Creately keskkonnas koostatud masina töötamise skeem [30].

Joonisel 7.5 on välja toodud masina töötamise skeem. Peatükis 5 ühendati kolm pliiaikut jadamisi, mis moodustas akupanga klemmipingega 36 V ja mahutavusega 60 Ah. Masina töötamiseks kasutakse ON-OFF kui ka häda-seis nuppu. Mikroprotsessori töötamise pingeks on 5 V ja sama on ka FlySky vastuvõtjaga, mistõttu on pingeregulaatori olemasolu oluline [27][28]. Juhtseadme andmeleheltsaadud info põhjal vajavad nad kahte signaali töötamiseks [25]. Nendeks on DIR ehk suuna signaal ja PUL ehk PWM signaal. DIR signaali kasutatakse Arduino UNO arendusplaadilt I/O viiku, mille oleku muutmisel antakse juhtseadmele teada, millises suunas tuleb liikuda. PWM signaaliga edastakse, et kui kiirelt pöörleb samm-mootor. FlySky puldiga juhitakse masinat. Raadioside abil edastatakse signaal vastuvõtjasse, kust see mikroprotsessoris ümber konverteeritakse PWM signaali.

KOKKUVÕTE

Antud töö raames projekteeriti prototüüp väikesemõõdulisest mehitamata maismaasõidukist. Tutvuti ajalooga ja uuriti kaasaegseid mehitamata maismaa sõidukeid. Seati projekteerimise tingimused ja kirjeldati mehaanilisi osi. Teostati ajami analüüs, kus leiti sobilik tigureduktor. Kirjeldati valitud sidurit ja arvutati protüübi teoreetiline kiirus täiskoormuse puhul. Teostati mehaaniliste osade tugevusarvutus ja leiti masina ajami voolutarve. Samuti kirjeldati ka juhtimise algset loogikat ja millega tahetakse seadet tulevikus juhtida.

Töö käigus valmisid tehnilised joonised ja tehniline lahendus, mida täites peaks saama luua väiksemõõtelise mehitamata maismaasõiduki.

Projekteeritud prototüüpmasina edasiarendamise võimalusteks oleks asendada samm-mootorid harjavabade mootorite vastu. Samuti igasuguste funktsioonalsuste lisamine, näiteks saha ette projekteerimine või masina autonoomseks tegemine, kus arendatakse erinevaid andureid loodud masina külge.

SUMMARY

In the framework of this work, a prototype of a small unmanned ground vehicle was designed. History and modern unmanned ground vehicles were studied. Design conditions were set and mechanical parts were described. An analysis of the transmission was performed, where a suitable worm gearbox was found. The selected clutch was described and the theoretical speed of the prototype at full load was calculated. The strength calculation of the mechanical parts was performed and the current consumption of the machine transmission was found.

The logic of the control and how to control the device in the future was also described. In the course of the work, technical drawings and a technical solution were completed, which should make it possible to create a small unmanned ground vehicle.

Possibilities for further development of the designed prototype machine would be to replace stepper motors with brushless motors. Also the addition of all kinds of functionalities, such as pre-designing the snow plow or making the machine autonomous, where different sensors are developed for the created machine.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

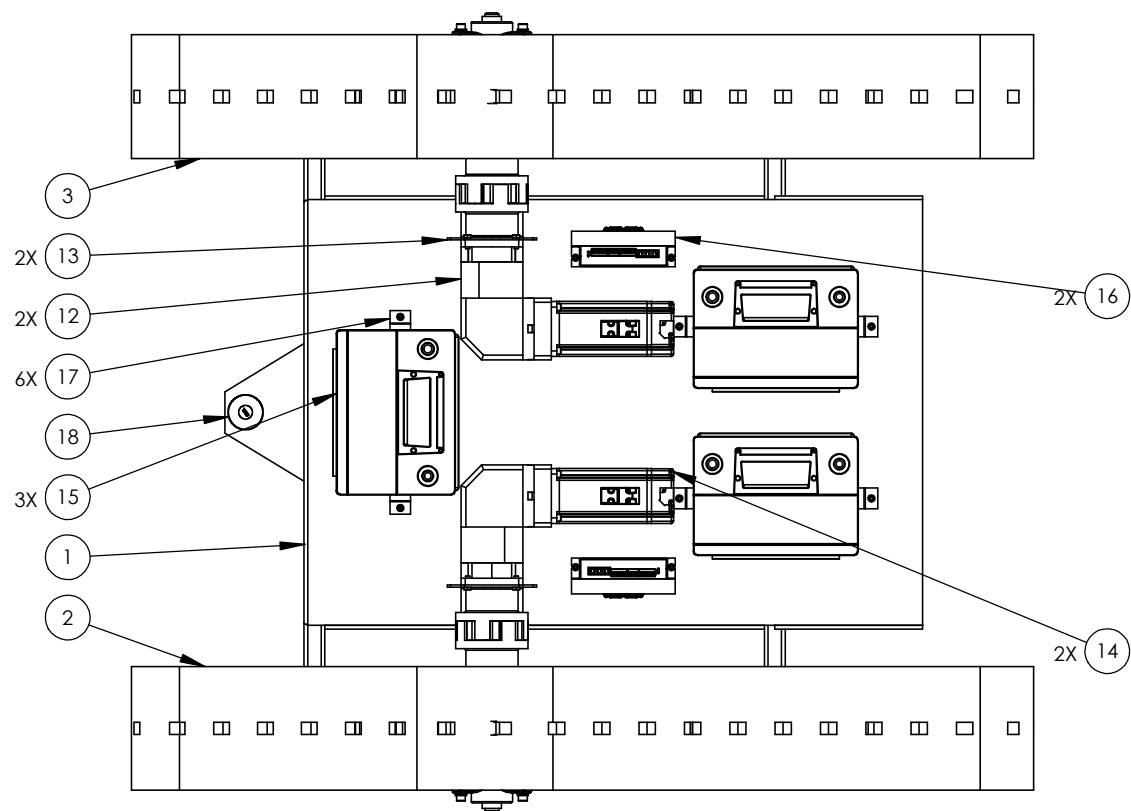
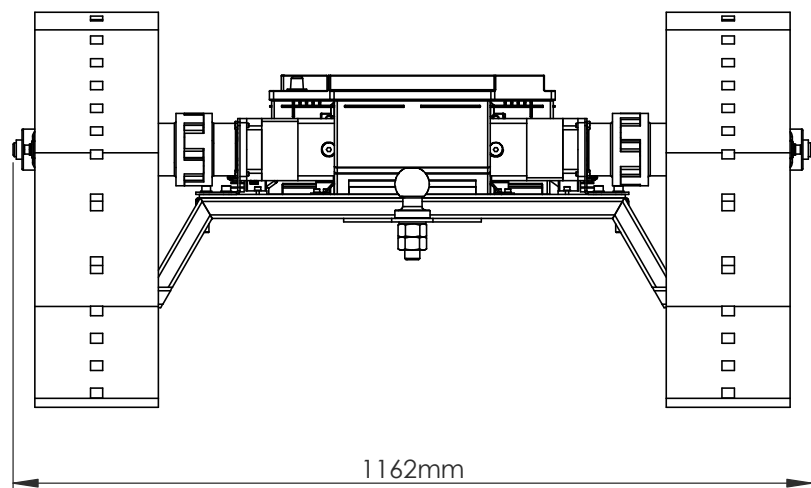
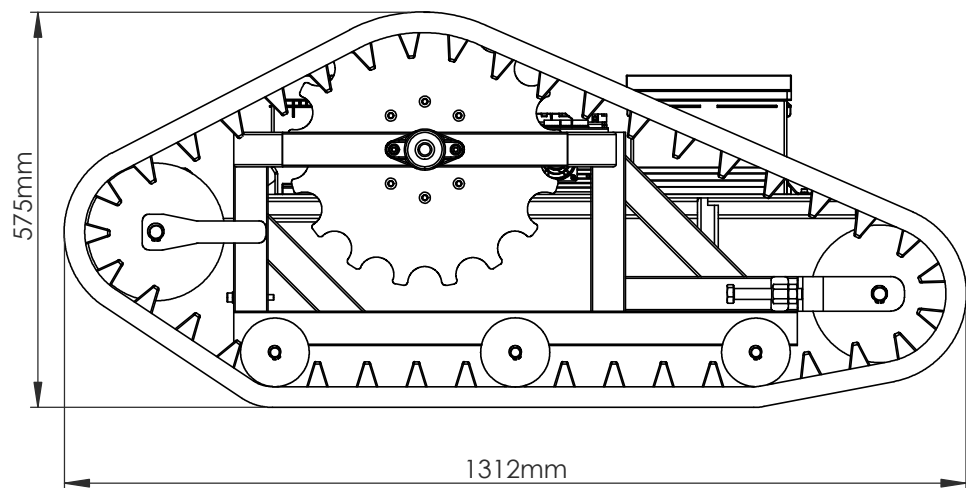
1. Unmanned Ground Vehicles (UGV) Market by Mobility (Wheeled, Tracked, Hybrid, Legged), Application (Commercial, Military, Law Enforcement, Federal Law Enforcement), Size, Mode of Operation, System, and Region - Global Forecast to 2030 (2020). USA: MarketsandMarkets Research Private Ltd <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-ground-vehicles-market-72041795.html> (25.05.2021)
2. **Oyekola, P., Lambrache, N., Mohamed, A., Pumwa, J., Olaru, L., N'Drelan, B., & Ebere, C.** (2019). Design and Construction of an Unmanned Ground Vehicle. - *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Toronto, Canada, pp 488-495.
https://www.researchgate.net/publication/342410025_Design_and_Construction_of_an_Unmanned_Ground_Vehicle
3. Unmanned Systems Technology. (s.a). Unmanned Ground Vehicles . [on-line] <https://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/platforms/ugvs/> (25.05.2021)
4. **Bhatt, A.** (2011). What is UGV? - *Engineers Garage*. [e-ajakiri] https://www.engineersgarage.com/what_is/what-is-ugv/ (25.05.2021)
5. **Bhagwat, G. G., Tandlekar, S. S., Pardhi, N. R., & Dhawale, S. D.** (2020). Unmanned ground vehicle. - *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 8, No. 4, pp. 3028-3032.
6. Bheemarasetti, S., Dhas, S., Burmas, L., Jain, P. (2017). Designing of Unmanned Ground Vehicle. - *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 8, No., 2, pp. 87.
7. **Chen, Yuanyan.** 2016. Autonomous Unmanned Ground Vehicle (UGV) Follower Design. Master's thesis. Russ College of Engineering and Technology of Ohio University. Ohio. Pp. 15.
8. Bouhraoua, A., Merah, N., AlDajani, M., & ElShafei, M. (2010). Design and implementation of an unmanned ground vehicle for security applications. - *Proceeding of the 7th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA10)*. Pp. 1.
9. WeapoNews. (s.a). Land torpedo Crocodile Schneider (France). [on-line] <http://weaponews.com/weapons/13708-land-torpedo-crocodile-schneider-france.html> (25.05.2021)
10. Kirill, R. (2017). Land torpedo Schneider Crocodile (France). - *TopWar*. [e-ajakiri] <https://en.topwar.ru/123648-suhoputnaya-torpeda-schneider-crocodile-franciya.html> (26.05.2021)

11. **Michel, H. A., Gettinger, D.** (2013). Out of the Shadows: The Strange World of Ground Drones. - The Center for the Study of the Drone. [e-ajakiri]
<https://dronecenter.bard.edu/shadows-strange-world-ground-drones/> (26.05.2021)
12. Back to the Drawing Board – The Goliath Tracked Mine. (2012). *Military History Matters*. [e-ajakiri] <https://www.military-history.org/feature/world-war-2/back-to-the-drawing-board.htm> (26.05.2021)
13. **Kägo, R., Vellak, P., Karofeld, E., Noorma, M., & Olt, J.** (2021). Assessment of using state of the art unmanned ground vehicles for operations on peat fields. - *Mires and Peat*. Vol. 27. [e-ajakiri] <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map27/map2711.php> (26.05.2021).
14. **Gage, D. W.** (1995). UGV history 101: A brief history of Unmanned Ground Vehicle (UGV) development efforts. - *Unmanned Systems Magazine*. Vol. 13, No. 3, pp. 1-2.
15. **McNabb, M.** (2021). Asylon and Boston Dynamics Partner on Robotic Security Platform that Combines Air and Ground-based Drones. - *Dronelife*. [e-ajakiri]
<https://dronelife.com/2021/05/07/asylon-and-boston-dynamics-partnership/> (26.05.2021)
16. **Waldron, K. J., Mcghee, R. B.** (1986). The Adaptive Suspension Vehicle. - *IEEE Control Systems Magazine*. Vol. 6. No. 6, pp. 7-11. [e-ajakiri]
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1105145> (25.05.2021)
17. **Kordik, J.** (2015). What do NEMA sizes mean? - *Applied Motion Products*. [e-ajakiri] <https://www.applied-motion.com/news/2015/10/what-do-nema-sizes-mean> (15.05.2021)
18. Tallinna Tööstushariduskeskus. (s.a). Mehhatroonikaseadmed. Täiturid - elektromehaanilised täiturid. Samm-mootoriga elektri jaam. [veebileht]
https://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_8.html (20.05.2021)
19. AliExpress. (s.a). 86 Hybrid Closed loop stepper motor 86HB250-156B 12.5N.m Nema 34 6A 2 phase closed-loop stepping motor. [on-line]
<https://www.aliexpress.com/item/32836447647.html> (20.05.2021)
20. Michelin tire rolling resistance. (2003). The tyre. Rolling resistance and fuel savings. France: Société de Technologie Michelin. [on-line]
http://www.dimnp.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf (20.05.2021)

21. The Engineering ToolBox. (s.a). Friction and Friction Coefficients. The friction theory and friction coefficients at different conditions for various of materials like ice, aluminum, steel, graphite and other common materials and materials combinations. [on-line] https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html (15.05.2021)
22. Newgear Planetary Transmission Equipment. (s.a). Complete Solutions for Planetary Gear Reducer. [on-line] http://www.hitechautomation.co.th/wp-content/uploads/2020/02/Gear-Reducer-_Catalog_NewA3-Size1.pdf (25.05.2021).
23. **Sarna, S., K.** (2015). Couplings and Their Types. - *Ispat Guru*. [e-ajakiri] <https://www.ispatguru.com/couplings-and-their-types/> (26.05.2021).
24. Mädler. (s.a.). Elastic Couplings DXA. [on-line] <https://www.maedler.de/product/1643/1622/1649/elastische-kupplungen-dxa> (26.05.2021)
25. Hardware CNC. (s.a). HBS86H Hybrid Stepper Servo Drive Manual. [on-line] https://hardware-cnc.nl/wp-content/uploads/2018/09/HBS86H_English_Manuel.pdf (26.05.2021)
26. **Wang, P. X., Rui, X. T., Yu, H. L., Wang, G. P., & Chen, D. Y.** (2020). Adaptive control of track tension estimation using radial basis function neural network. - *Defence Technology*. Pp. 1.
27. Arduino Store. (s.a). Arduino Uno Rev3. [on-line] <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (25.05.2021)
28. Fly Sky. (s.a). FS-iA6B. [on-line] <https://www.flysky-cn.com/ia6b-canshu> (15.05.2021)
29. Fly Sky. (s.a). FS-i6X. [on-line] <https://www.flysky-cn.com/i6x-gaishu-1> (15.05.2021)
30. Creately. (s.a). [on-line] <https://creately.com/> (15.05.2021)

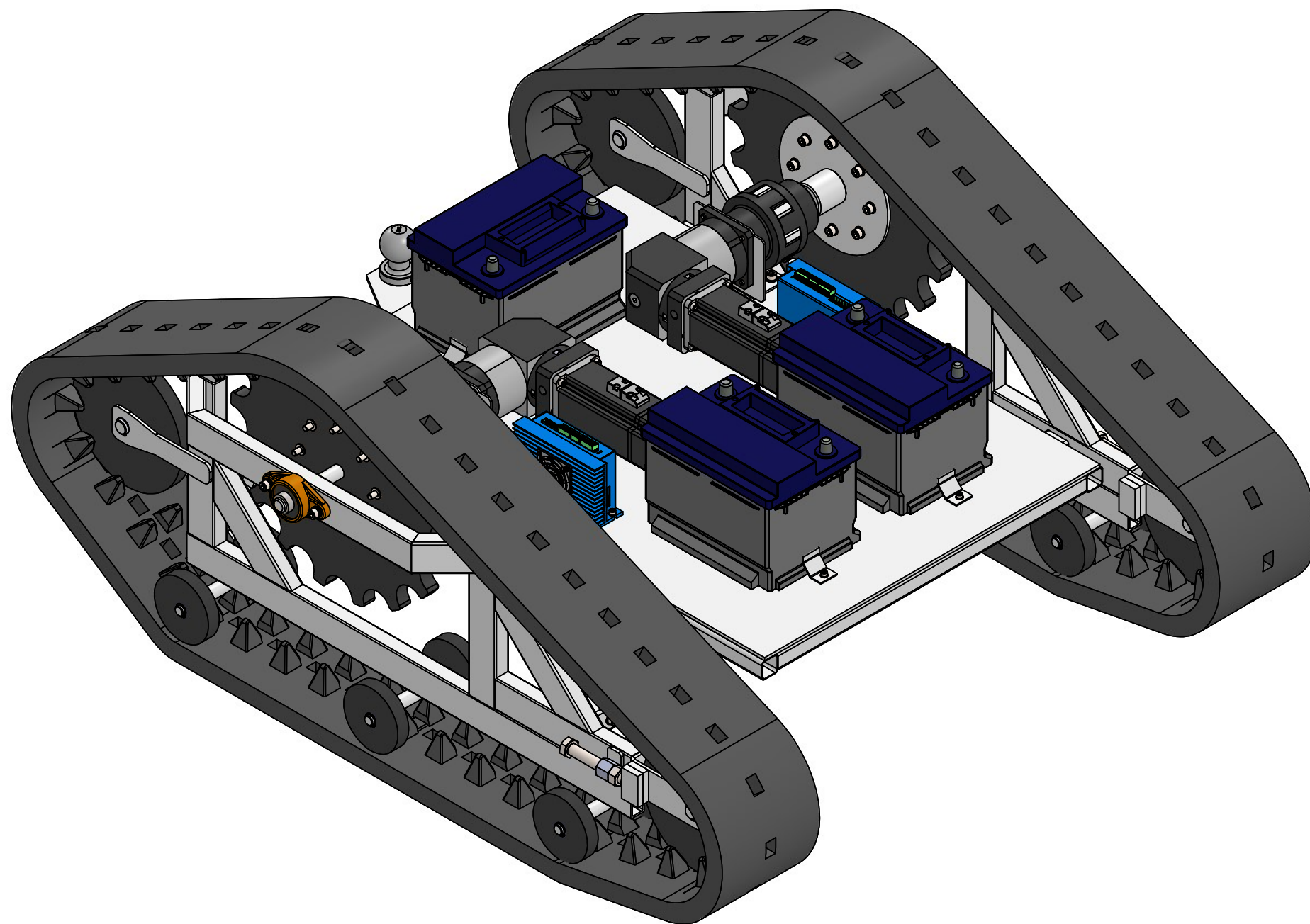
LISAD

LISA A – TEHNILISED JOONISED

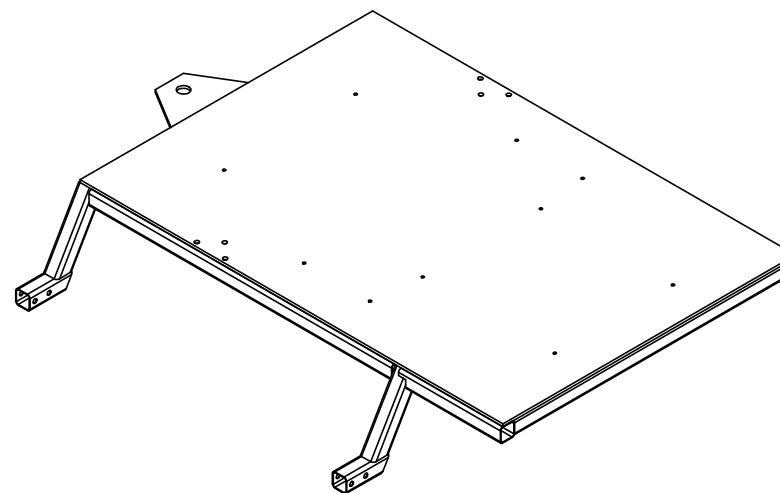
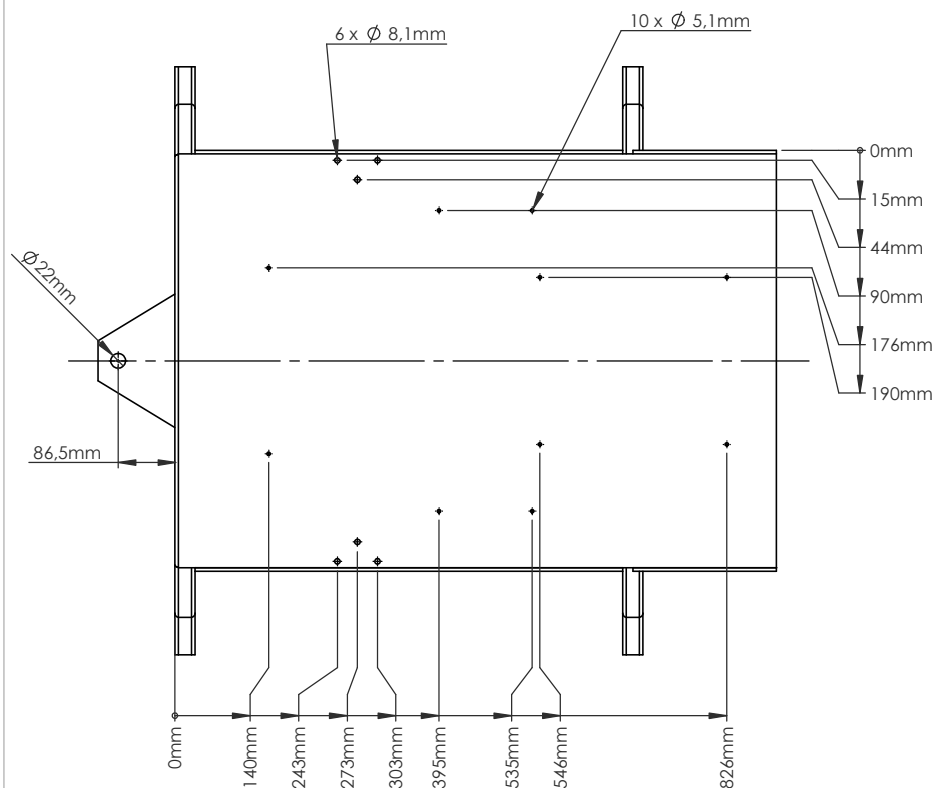
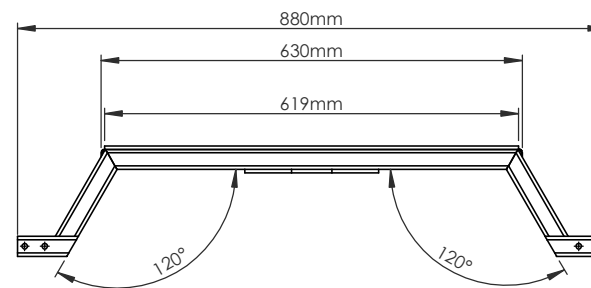
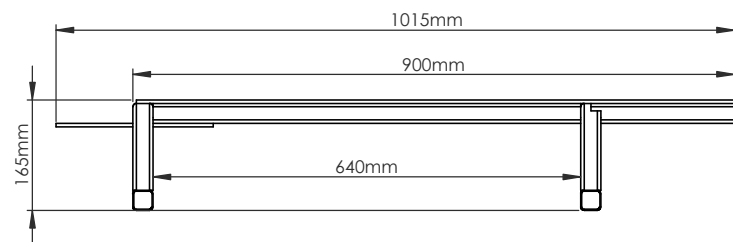


20	DIN 934	DIN934 - M24	2	
19	DIN 125	DIN 125 - A 23	1	
18	Veokonks	Veokonks	1	
17	TN 21/140440 A 01 02 D	Aku kinnitusplaat	6	
16	HBS860H	Juhtseade HBS860H	2	
15	PiliAKU	Pliiaku 12V 60Ah	3	
14	86HB250-156B	Nema 34 86HB250-156B samm-mootor	2	
13	TN 21/140440 A 01 01 D	Mootori kinnitusplaat	2	
12	PVF120	Tigureduktor PVF120 2:50	2	
11	DIN 912	DIN 912 - M6 x 16	8	
10	DIN 912	DIN 912 - M5 x 16	6	
9	DIN 912	DIN 912 - M8 x 25	2	
8	DIN 912	DIN 912 - M5 x 20	4	
7	DIN 125	DIN 125 - A 5.3	20	
6	DIN 933	DIN933 - M6 x 16	8	
5	DIN 912	DIN 912 - M8 x 60	12	
4	DIN 125	DIN 125 - A 8.4	28	
3	TN 21/140440 A 04 00 K	Vasaku roomiku koost	1	
2	TN 21/140440 A 03 00 K	Parema roomiku koost	1	
1	TN 21/140440 A 02 00 K	Kere raam	1	
Detaili nr.	Tähis	Nimetus	QTY	Märkus

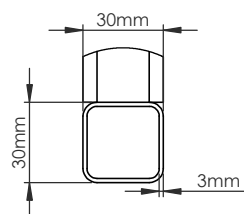
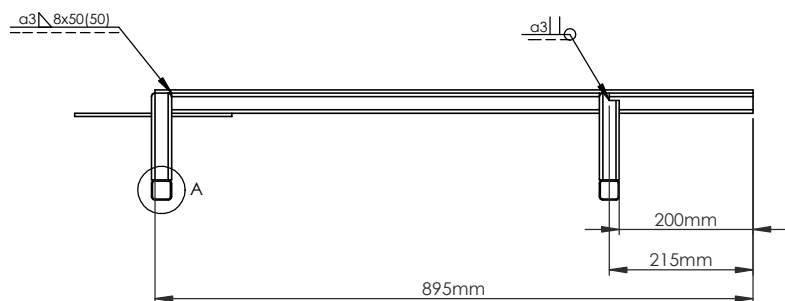
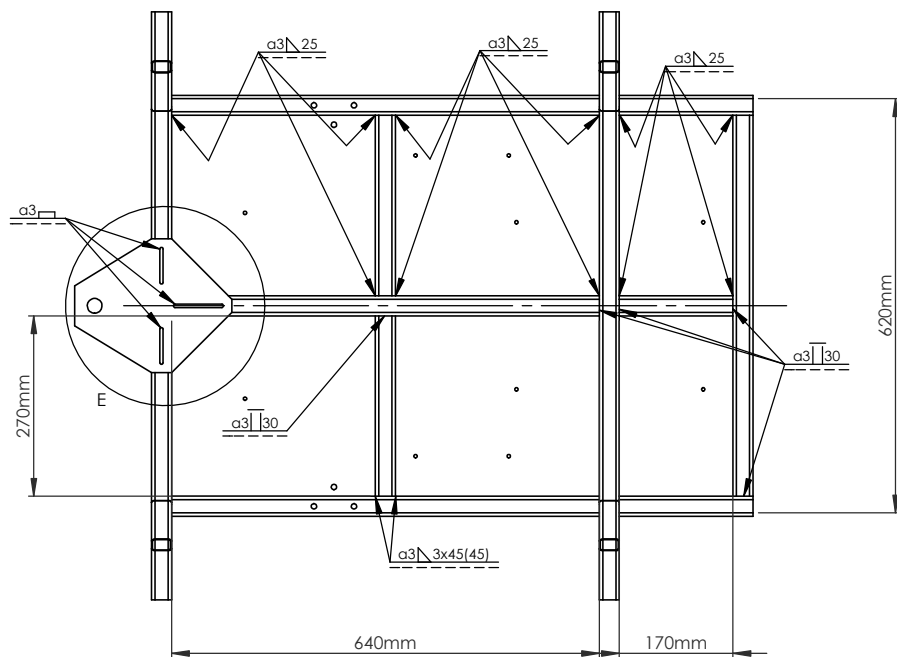
	Materjal:	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 204.88	Mõõt: 1:11
Teostas	Martin Ernits	Väikesemõõdulise mehitamata maismaasõiduki prototüüp		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 2/1 A3	Tähis TN 21/140440 A 01 00 K	



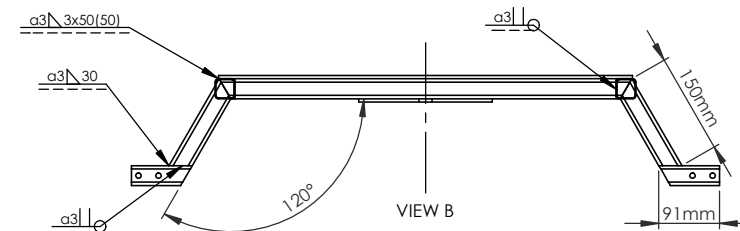
	Materjal:	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 204.88	Mõõt: 1:7
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Väikesemõõdulise mehitamata maismaasõiduki prototüüp		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool <small>www.emu.ee</small> <small>Estonian University of Life Sciences</small>		Leht: 2/2 A3	Tähis TN 21/140440 A 01 00 K	



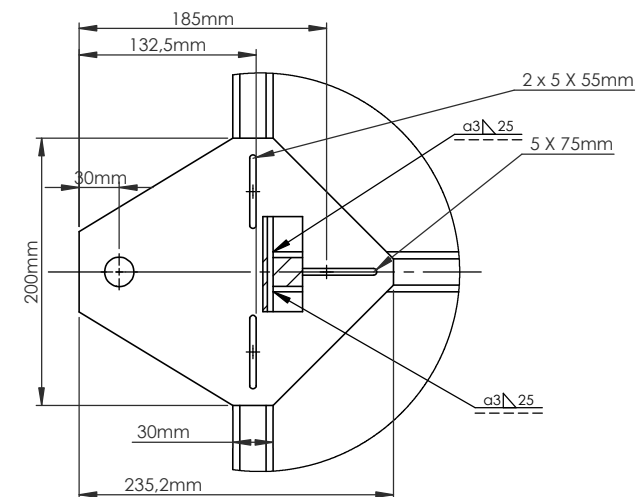
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 29.78	Mõõt: 1:8
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Kere raam		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/2 A3	Tähis TN 21/140440 A 02 00 K	



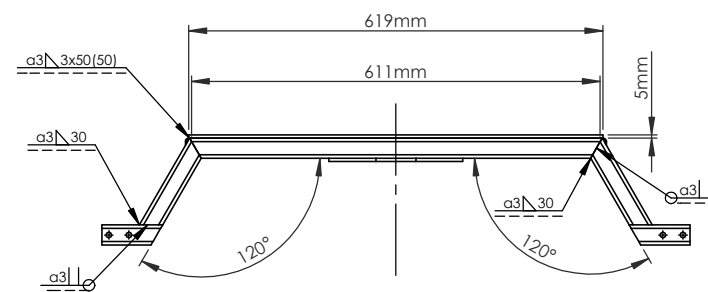
DETAIL A
MÕÖT 1 : 2



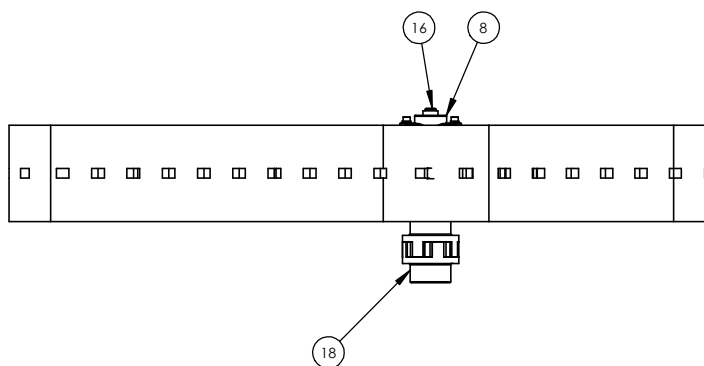
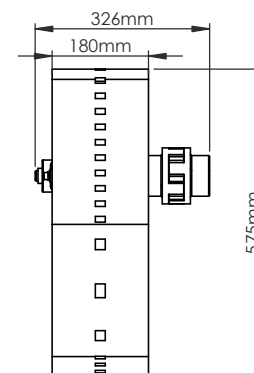
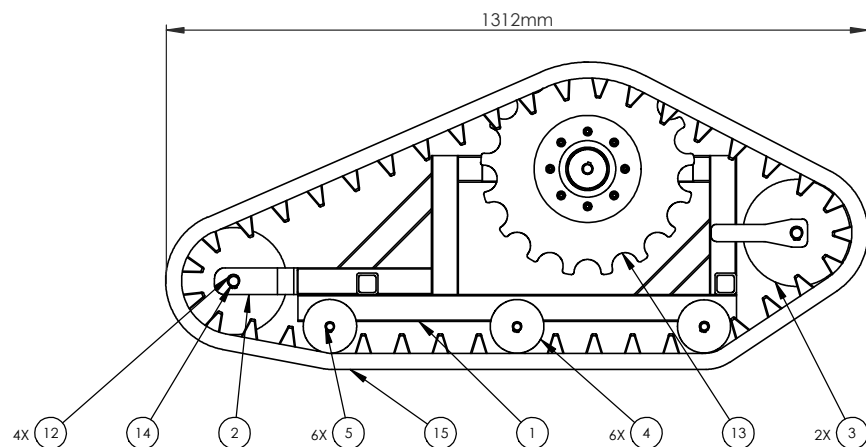
VIEW B



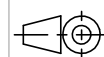
DETAIL E
MÕÖT 1 : 4



	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 29.78	Mõõt: 1:8
Teostas Kontrollis Kinnitas	Martin Ernits Erkki Jõgi Erkki Jõgi	Nimetus: Kere raam		
Leht: 2/2 A3		Tähis TN 21/140440 A 02 00 K		



19	DIN 985	DIN985 - M8	2	
18	Mädler Part no. 60403801	Elastne sidur	1	
17	Mädler Part no. 61812800	Võlli kili DIN 6885 6x6x40	2	
16	TN 21/140440 A 03 02 D	Veovõll	1	
15	PowerTrack 180x40x72	PowerTrack roomik 180x40x72	1	
14	TN 21/140440 A 03 03 D	Rattavõlli lühem	2	
13	TN 21/140440 A 03 02 K	Veoratta koost	1	
12	Mädler Part no. 61742000	Stopperirõngas	4	
11	DIN 912	DIN 912 - M8 x 60	2	
10	DIN 125	DIN 125 - A 8.4	4	
9	Mädler Part no. 62351400	Flants	4	
8	Mädler Part no. 62612000	Laagripukk	1	
7	DIN 934	DIN934 - M16	1	
6	DIN 933	DIN933 - M16 x 100	1	
5	Mädler Part no. 61741500	Stopperirõngas 2	6	
4	Ratas 100 mm	Illusteeriv ratas 100 mm	6	
3	Ratas 200 mm	Illusteeriv ratas 200 mm	2	
2	TN 21/140440 A 03 01 K	Pingutussüsteemi koost	1	
1	TN 21/140440 A 03 03 K	Parema roomiku keevisraam	1	
Detalli nr.	Tähis	Nimetus	Hulk QTY	Märkus



Materjal:

Näitamata piirhälbed:
2768-mK

Mass:
48.80

Mõõt:
1:10

Teostas

Martin Ernits

Kontrollis

Erkki Jõgi

Kinnitas

Erkki Jõgi

Nimetus:

Parema roomiku koost



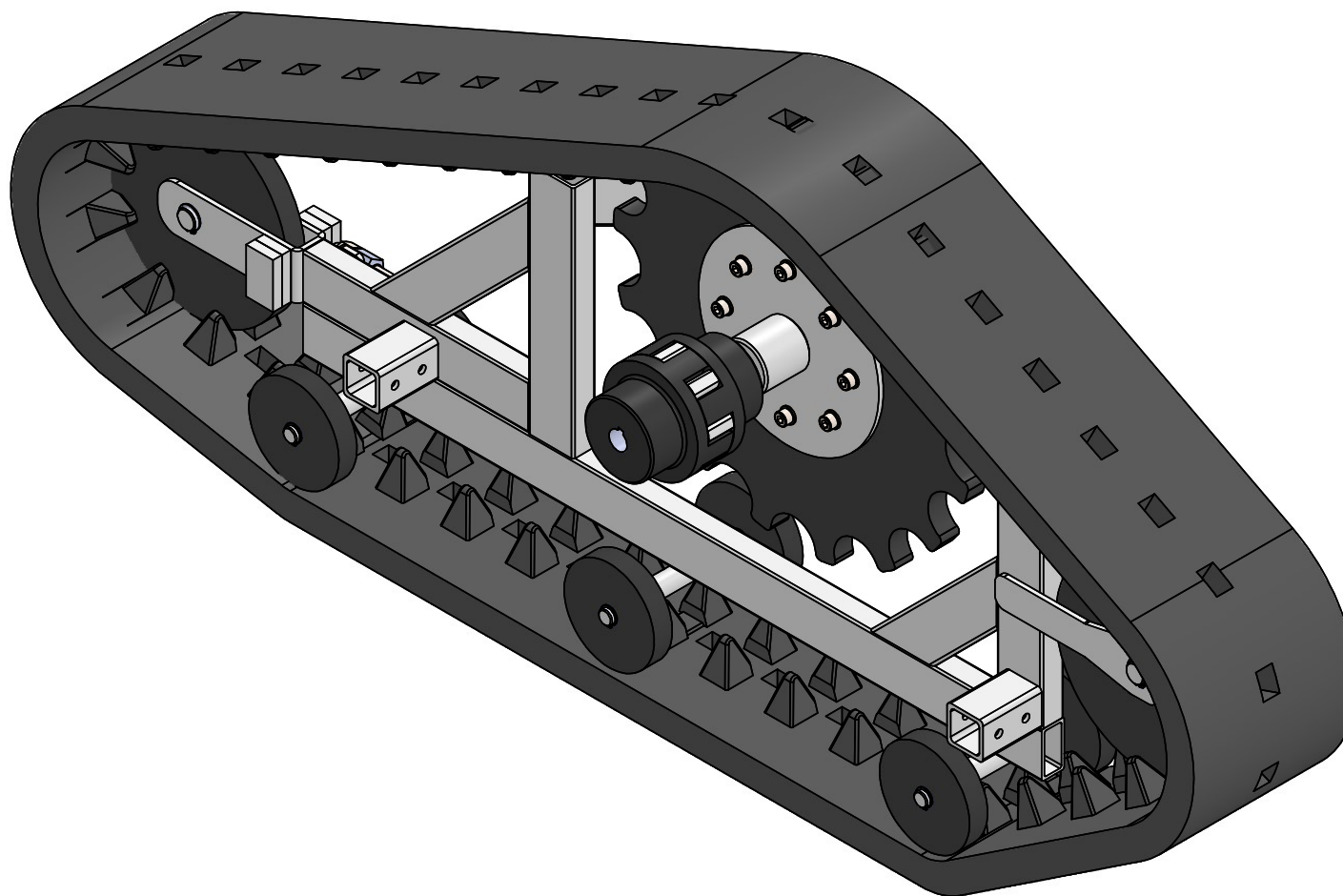
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences


www.emu.ee

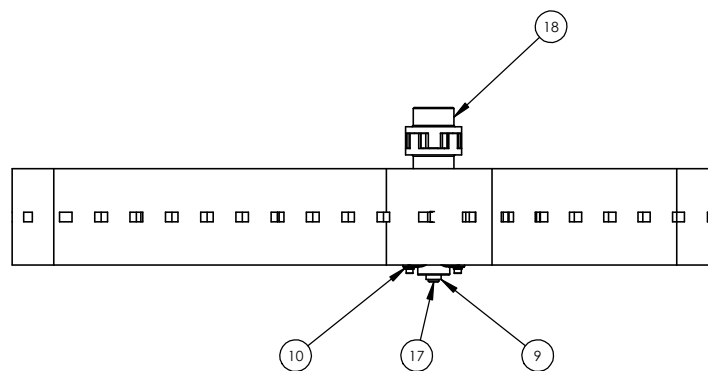
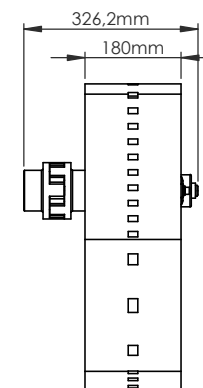
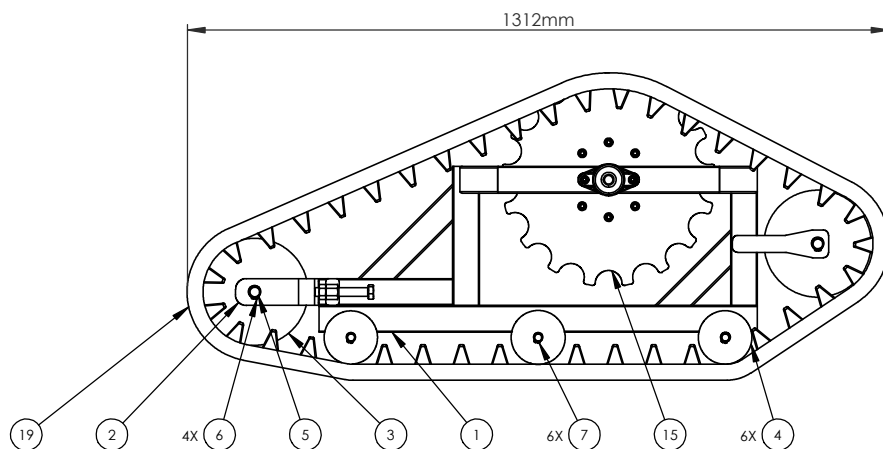
Leht:
2/1
A3

Tähis

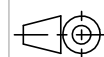
TN 21/140440 A 03 00 K



	Materjal:	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 48.80	Mõõt: 1:4
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Parema roomiku koost		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences</small>		Leht: 2/2 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 00 K	



19	PowerTrack 180x40x72	PowerTrack roomik 180x40x72	1	
18	Mädler Part no. 60403801	Elastne sidur	1	
17	TN 21/140440 A 03 02 D	Veovõll	1	
16	Mädler Part no. 61812800	Võlli kiil DIN 6885 6x6x40	1	
15	TN 21/140440 A 03 02 K	Veoratta koost	1	
14	DIN 933	DIN933 - M16 x 100	1	
13	DIN 912	DIN 912 - M8 x 60	2	
12	DIN 985	DIN985 - M8	2	
11	DIN 125	DIN 125 - A 8.4	4	
10	Mädler Part no. 62351400	Flants	4	
9	Mädler Part no. 62612000	Laagriuk	1	
8	DIN 934	DIN934 - M16	1	
7	Mädler Part no. 61741500	Stopperõngas 2	6	
6	Mädler Part no. 61742000	Stopperõngas	4	
5	TN 21/140440 A 03 03 D	Rattavõlli lõhem	2	
4	Ratas 100 mm	Vabalt jooksev ratas 100mm	6	
3	Ratas 200 mm	Vabalt jooksev ratas 200mm	2	
2	TN 21/140440 A 03 01 K	Pingutussüsteemi koost	1	
1	TN 21/140440 A 04 01 K	Vasaku roomiku keevisraam	1	
Detaili nr.	Tähis	Nimetus	QTY	Märkus



Materjal:

Näitamata piirhälbed:
2768-mK

Mass:
48.80

Mõõt:
1:10

Teostas

Martin Ernits

Kontrollis

Erkki Jõgi

Kinnitas

Erkki Jõgi

Nimetus:

Vasaku roomiku koost



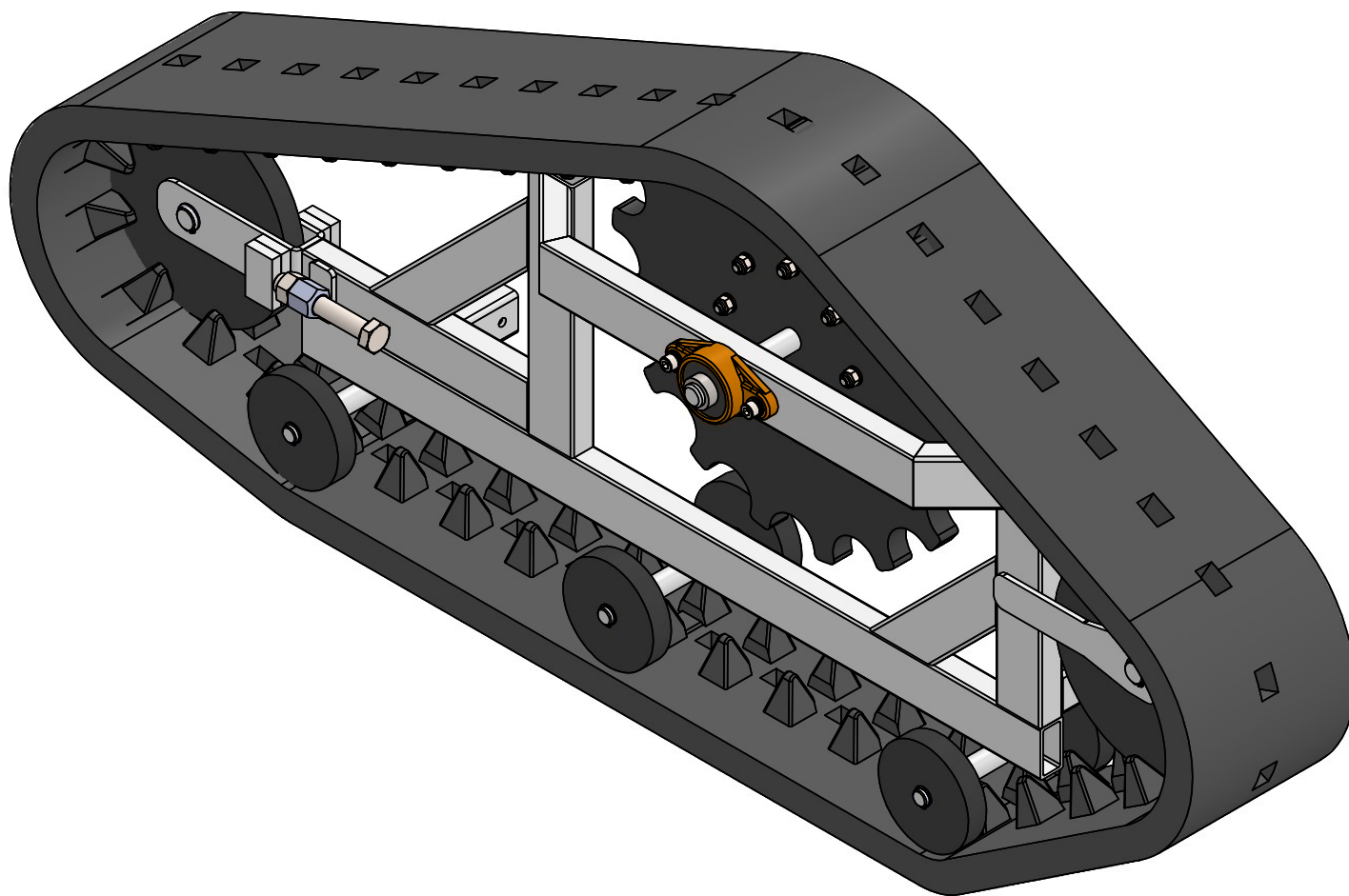
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

www.emu.ee

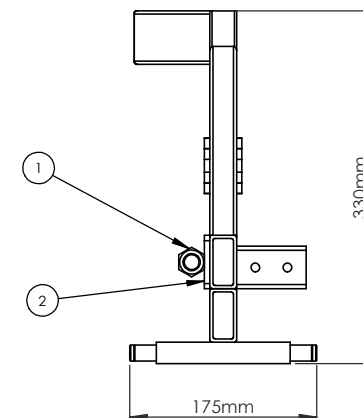
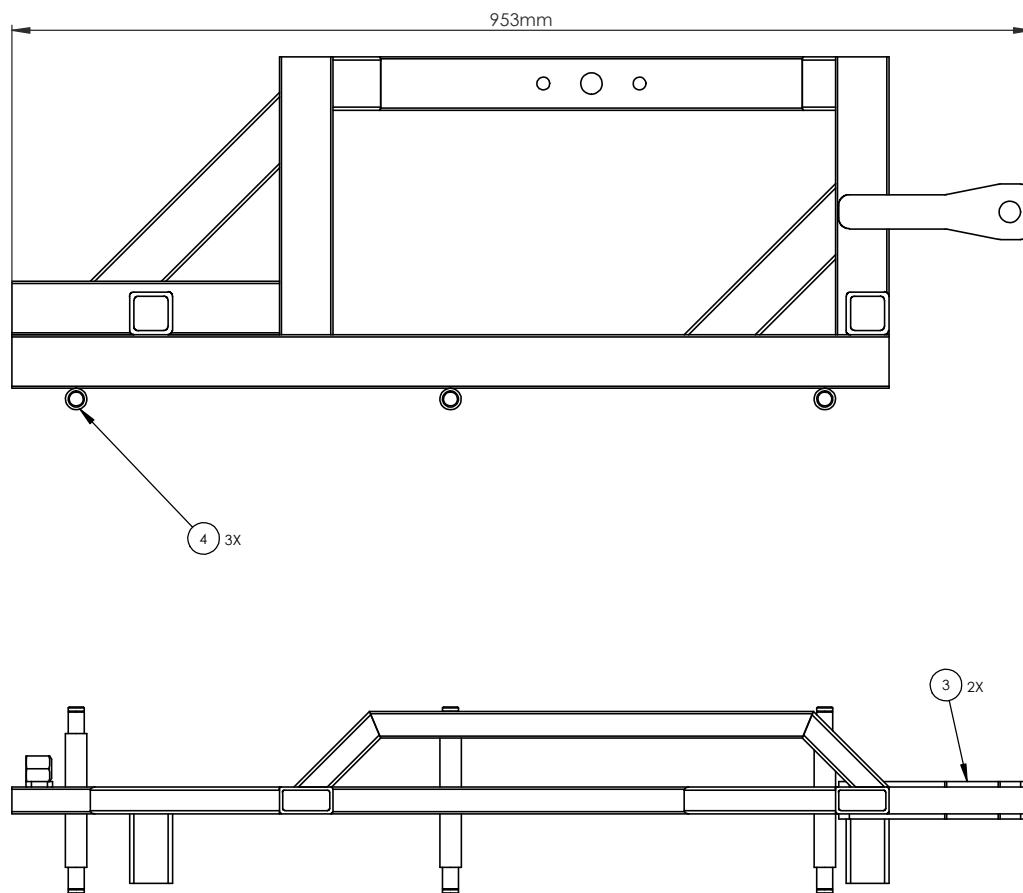
Leht:
2/1
A3

Tähis

TN 21/140440 A 04 00 K



	Materjal:	Näitamata piirhälbed: 2768-mK	Mass: 48.80	Mõõt: 1:4
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Vasaku roomiku koost		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences</small>		Leht: 2/2 A3	Tähis TN 21/140440 A 04 00 K	



4	TN 21/140440 A 03 01 D	Rattavõlli pikem	3	0
3	TN 21/140440 A 03 07 D	Ratta kinnitusplaat 2	2	0
2	TN 21/140440 A 03 11 D	Detail 4	1	0
1	Mädler Part no. 65321600	Jätkumutter M16	1	0
Detaili nr.	Tähis	Nimetus	QTY	Märkus

	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 10.33	Mõõt: 1:5
---	-----------------------------	--------------------------------------	--------------------	------------------

Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Parema roomiku keevisraam
Kontrollis	Erkki Jõgi	
Kinnitas	Erkki Jõgi	

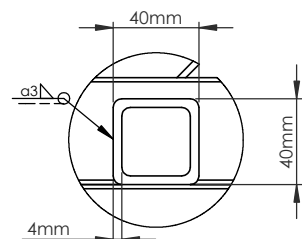
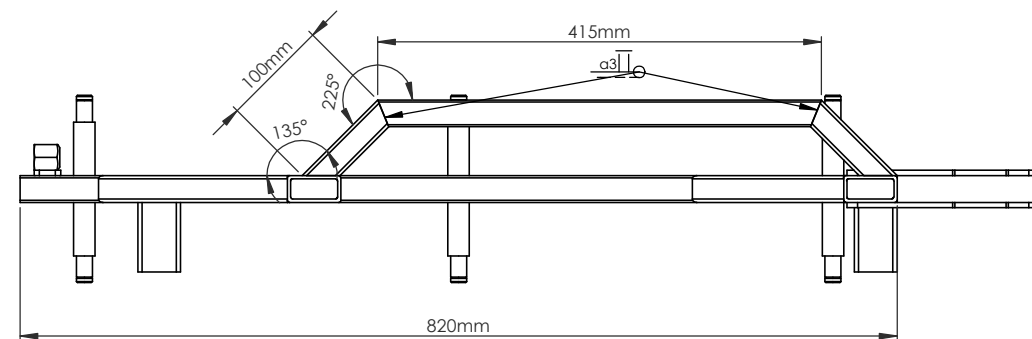
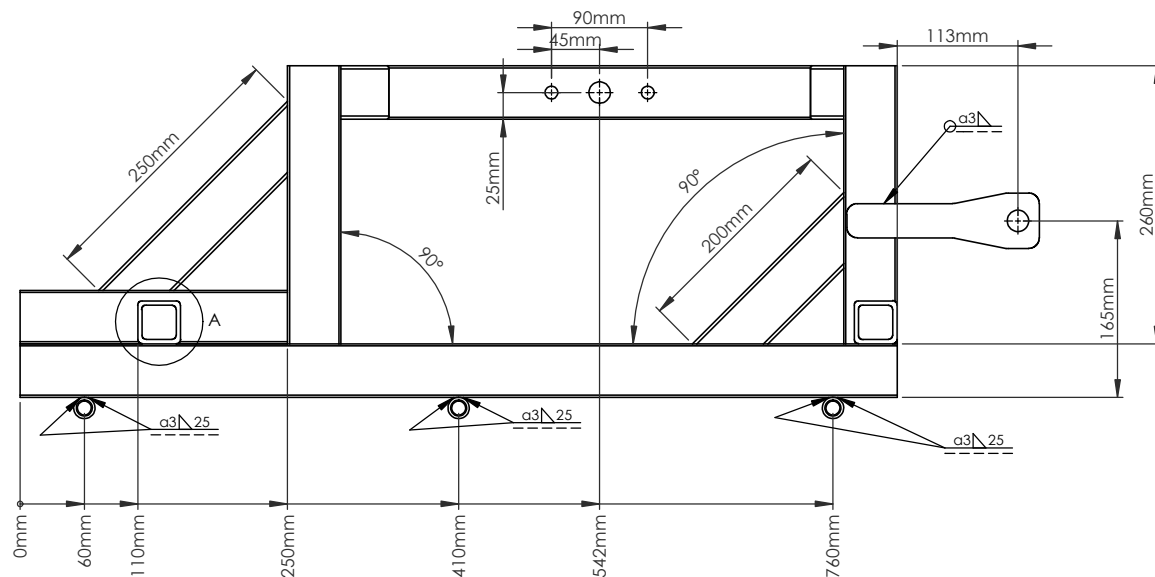


Eesti Maaülikool

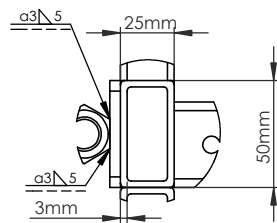
Estonian University of Life Sciences

www.emu.ee

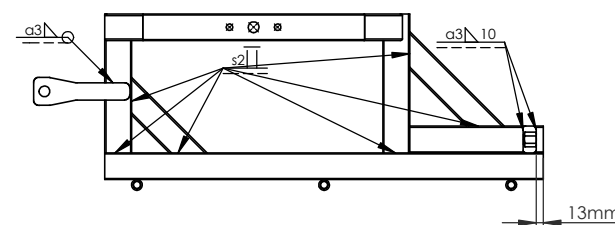
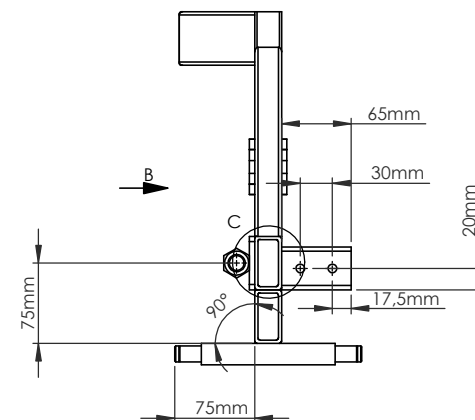
Leht: 2/1 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 03 K
----------------------------	-------------------------------------



DETAIL A
MÕÖT 2 : 5

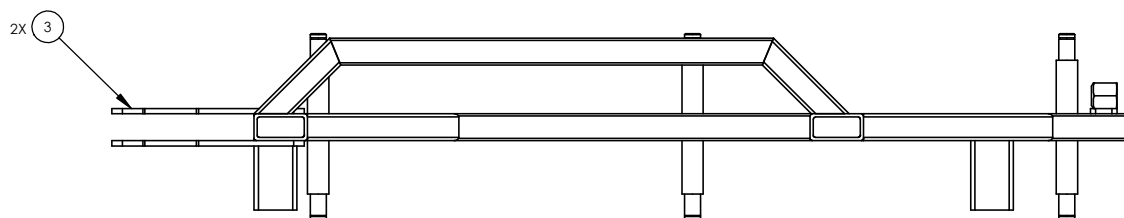
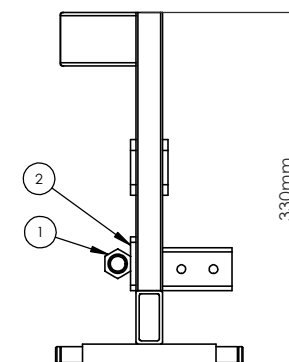
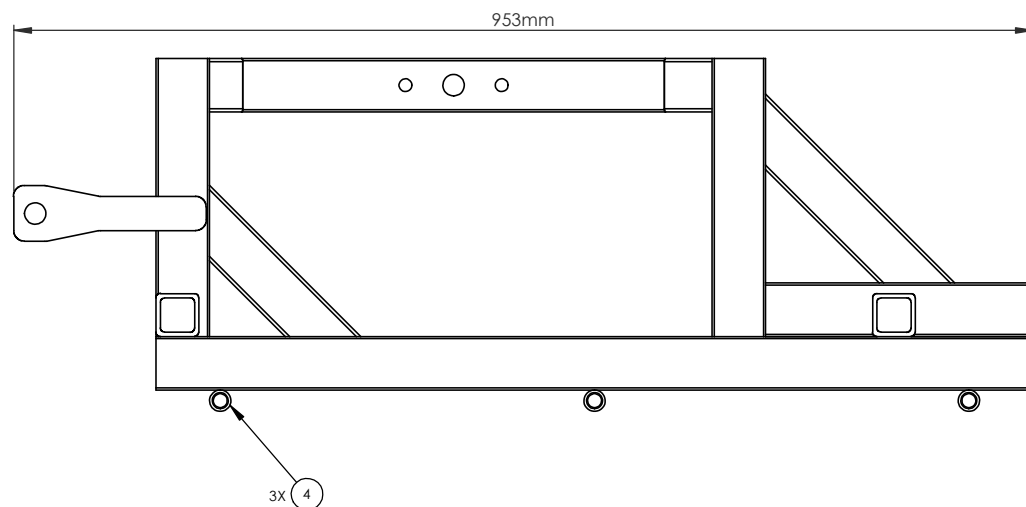


DETAIL C
MÕÖT 2 : 5

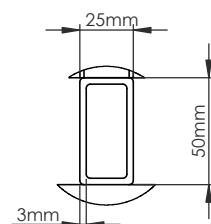
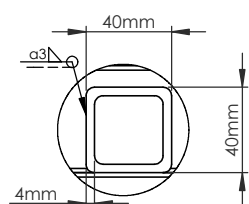
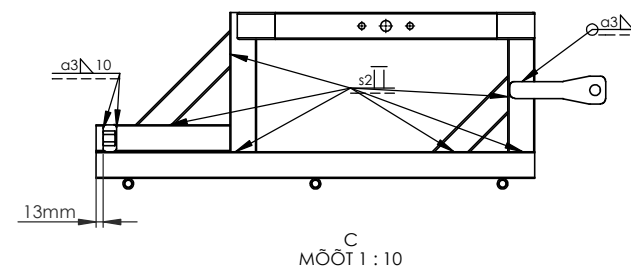
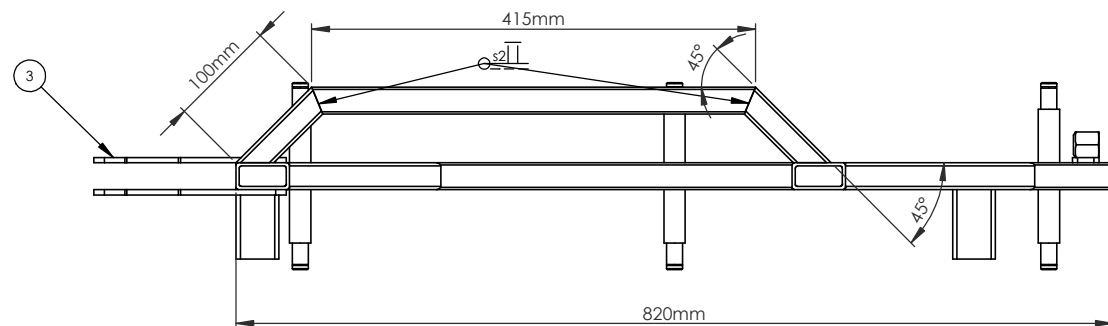
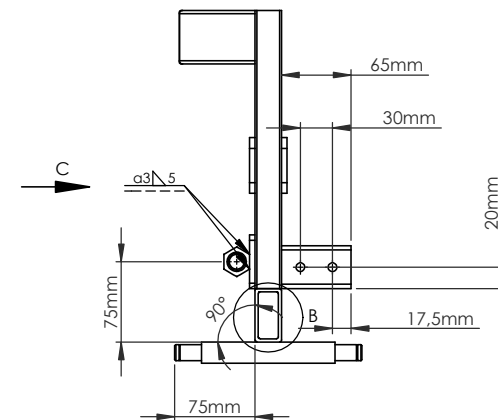
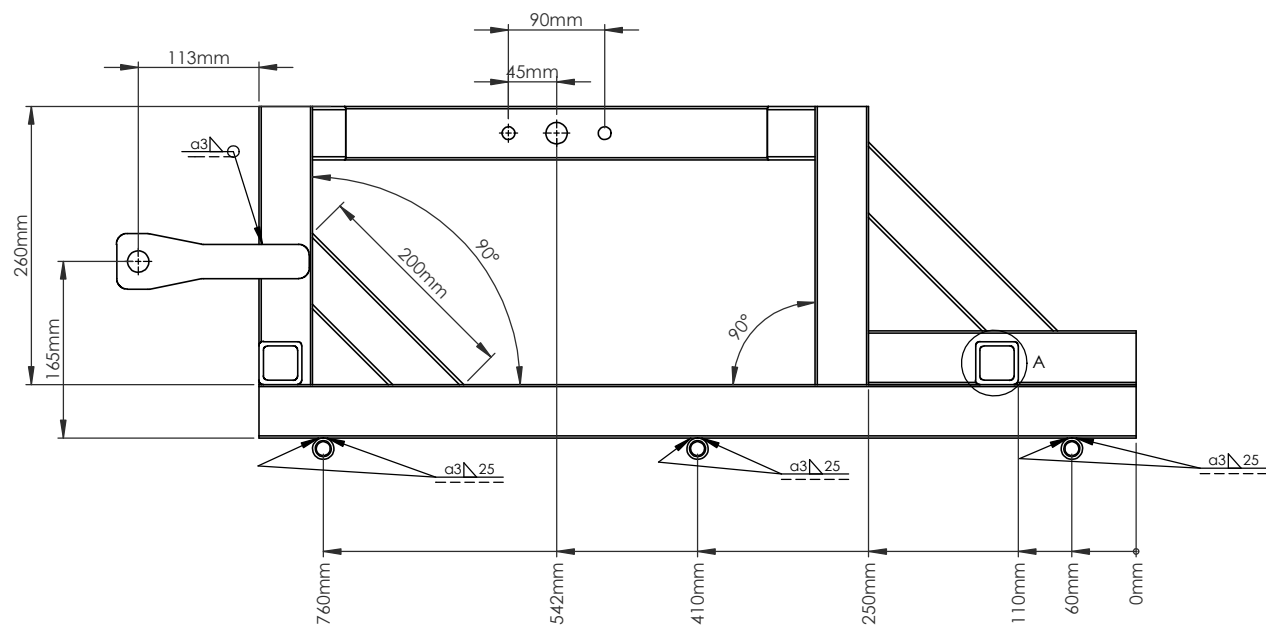


B
MÕÖT 1 : 10

	Materjal:	Teras S355	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
			2768-mK	10.33	1:5
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Parema roomiku keevisraam			
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas	Erkki Jõgi				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 2/2 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 03 K		



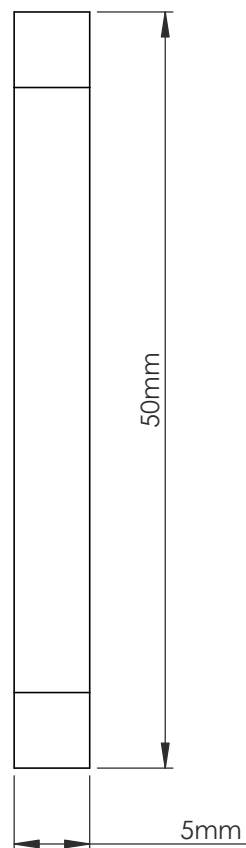
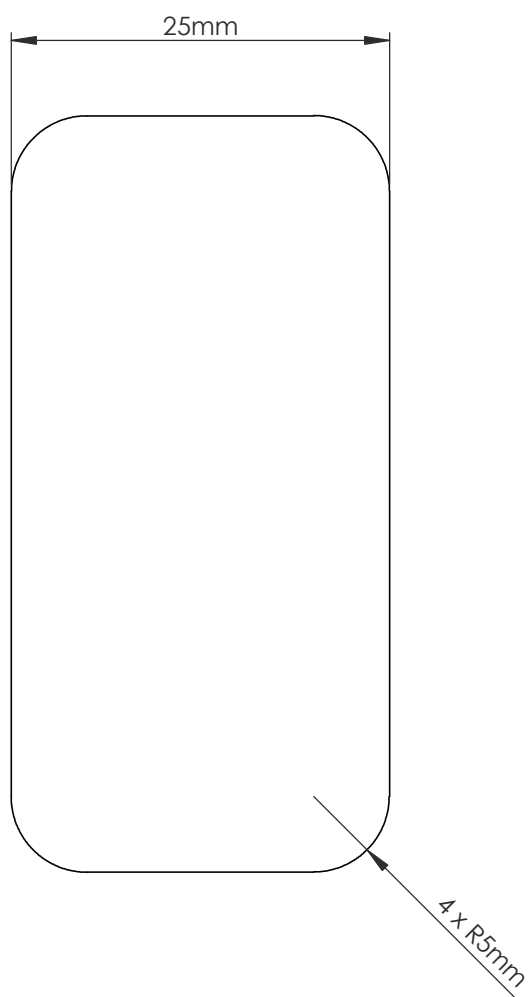
4	TN 21/140440 A 03 01 D	Rattavõlli pikem	1	
3	TN 21/140440 A 03 07 D	Ratta kinnitusplaat 2	2	
2	TN 21/140440 A 03 11 D	Detail 4	1	
1	Mädler Part no. 65321600	Jätkumutter M16	1	
Detaili nr.	Tähis	Nimetus	QTY	Märkus
	Materjal: Teras S355		Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 10.33 Mõõt: 1:5
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Vasaku roomiku keevisraam		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool www.emu.ee Estonian University of Life Sciences		Leht: 2/1 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 04 K	



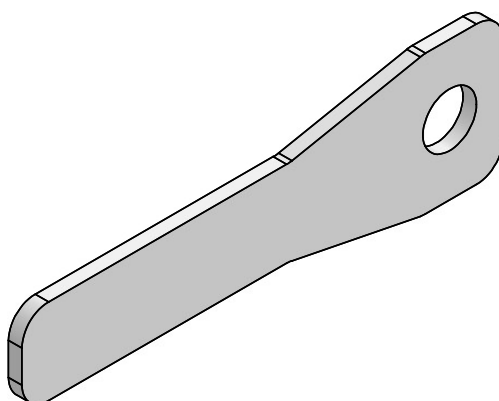
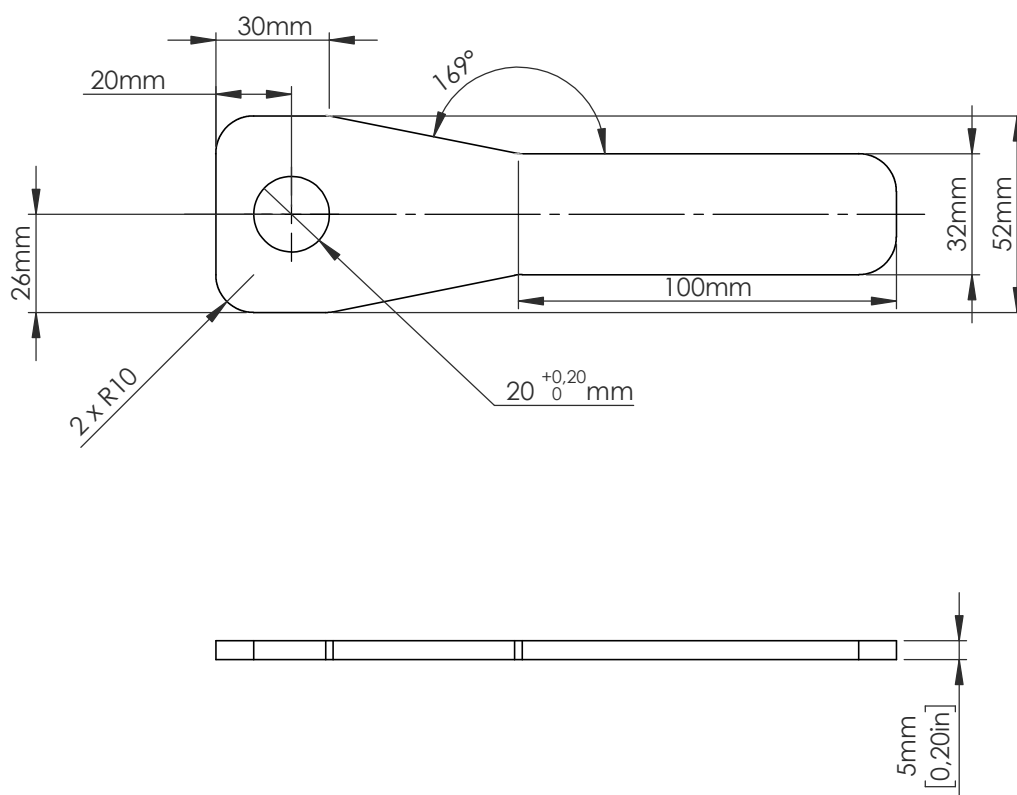
DETAIL A
MÕÖT 2 : 5

DETAIL B
MÕÖT 2 : 5

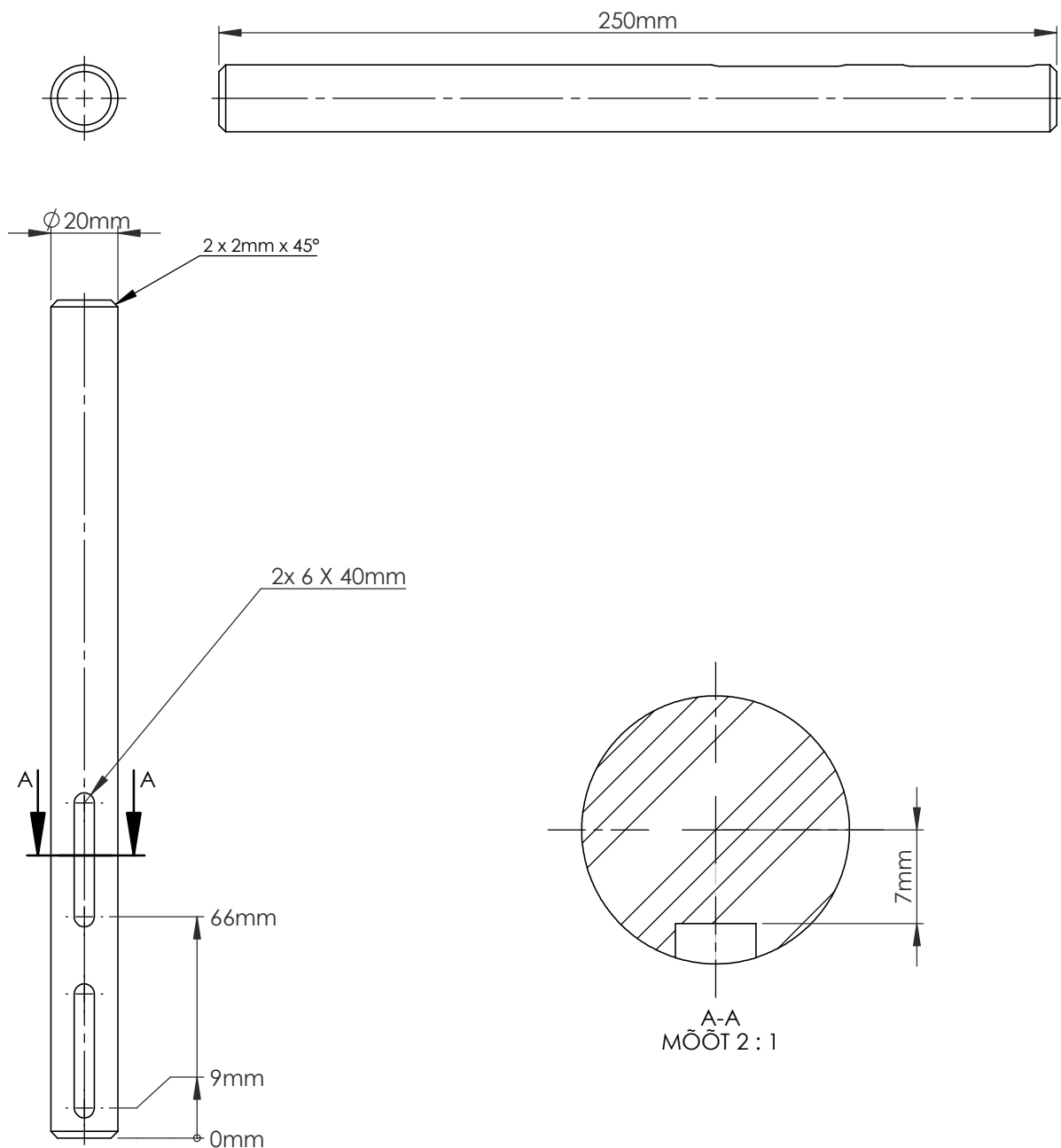
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 10.33	Mõõt: 1:5
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Vasaku roomiku keevisraam		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 2/2 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 04 K	



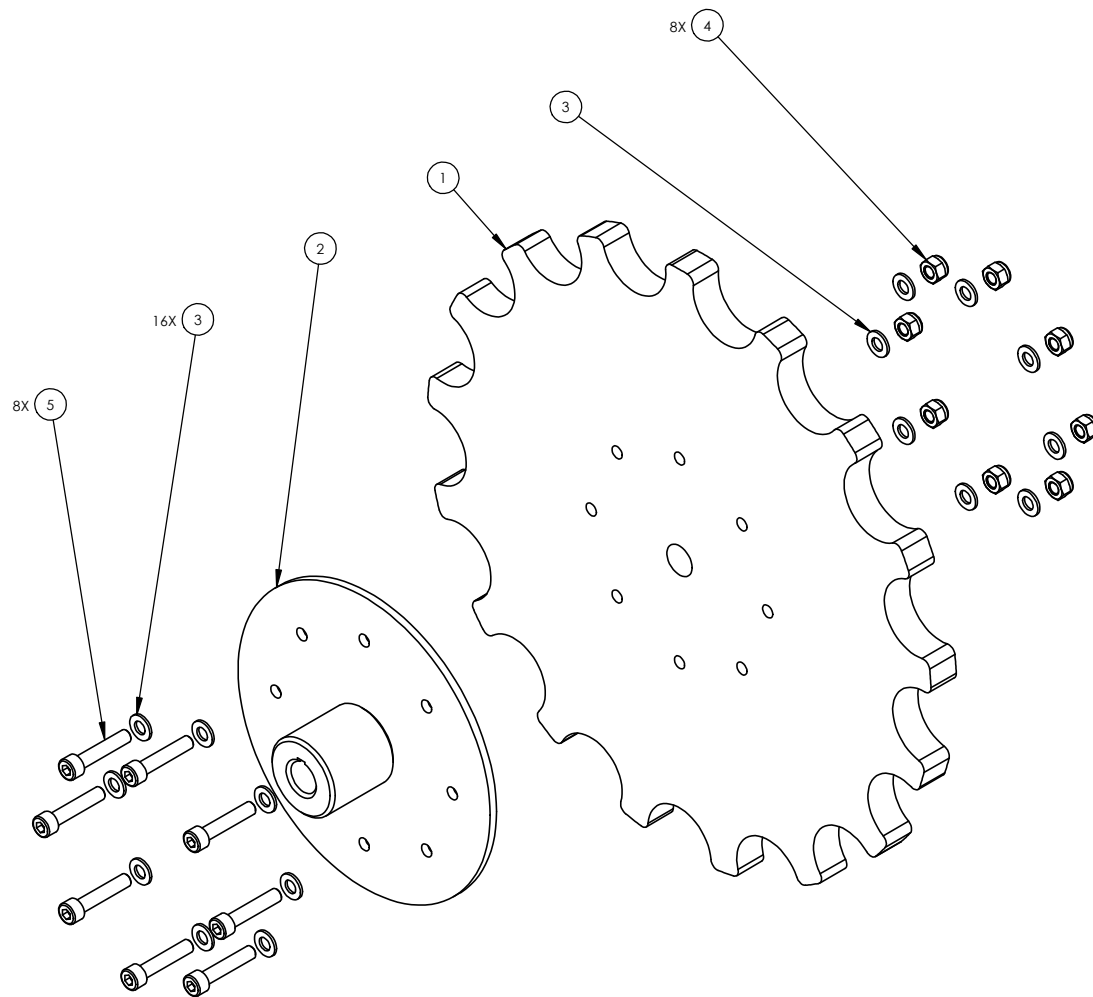
	Materjal: Teras S355		Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.05	Mõõt: 2:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Detail 4			
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas	Erkki Jõgi				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 11 D		





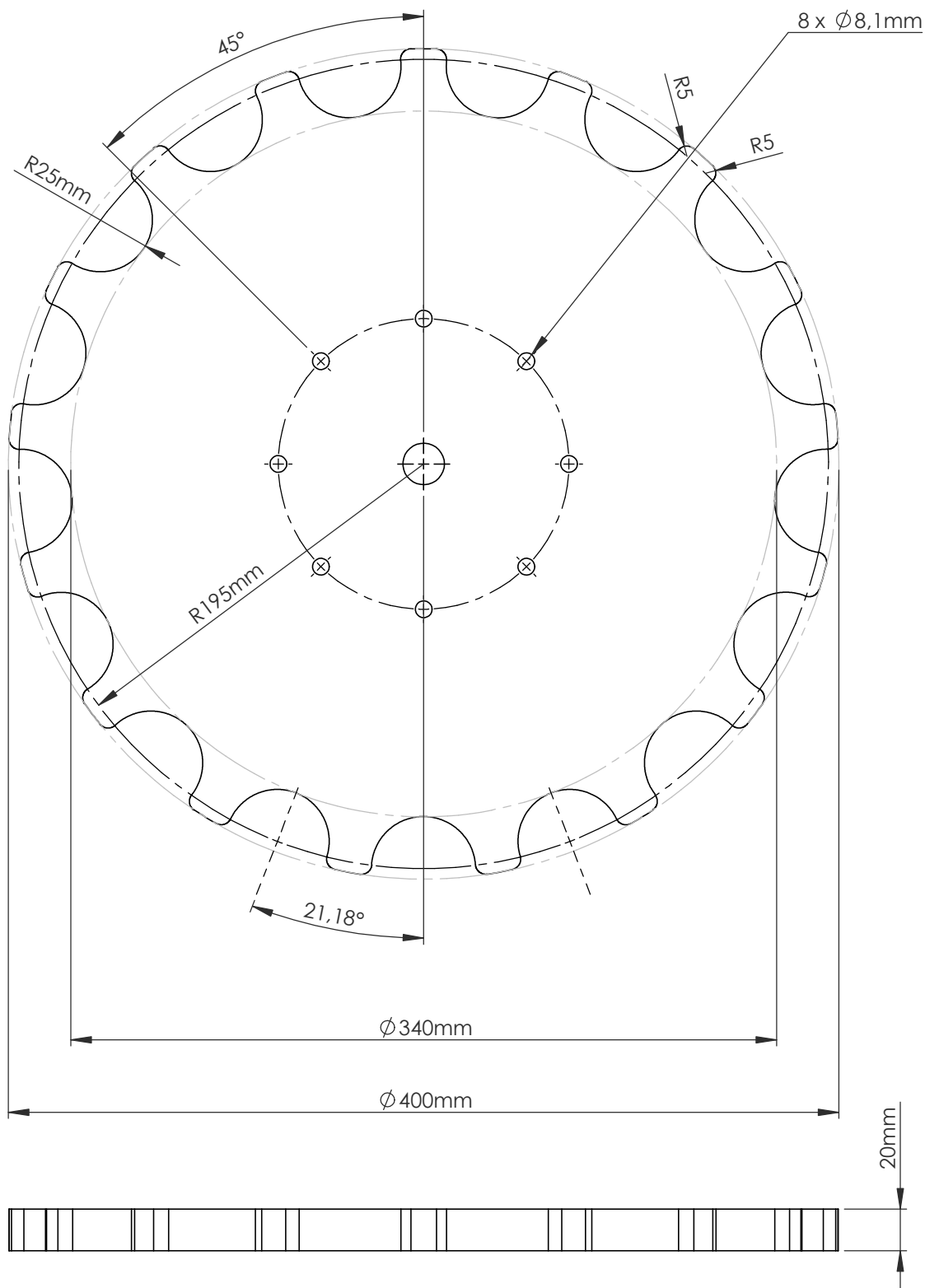
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.25	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Ratta kinnitusplaat 2		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 07 D	

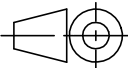


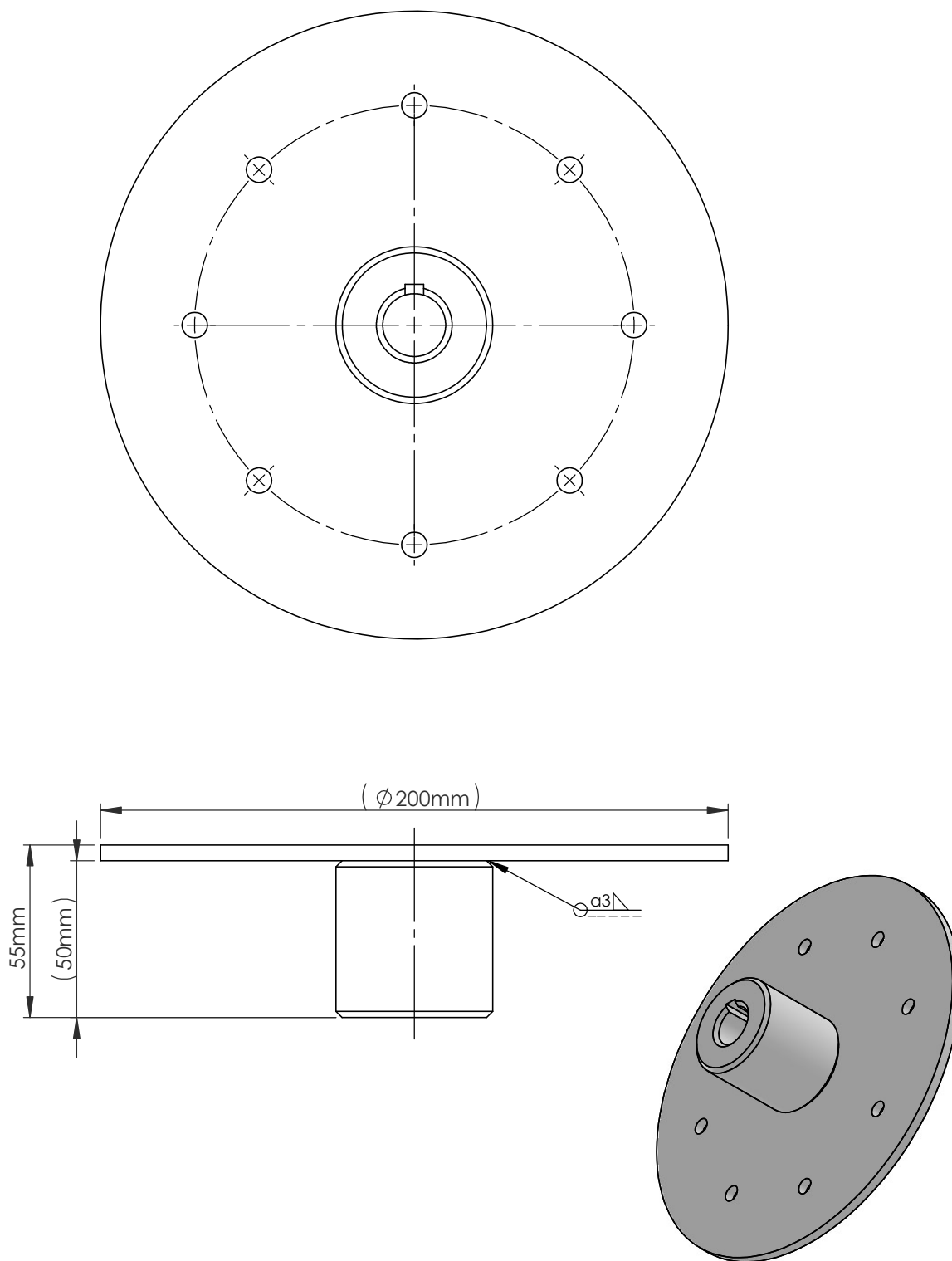
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.60	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Veovõll		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 02 D	



5	DIN 912	DIN 912 - M8 x 40	8		
4	DIN 985	DIN985 - M8	8		
3	DIN 125	DIN 125 - A 8.4	16		
2	TN 21/140440 A 03 08 D	Veoratta keevis	1		
1	TN 21/140440 A 03 08 D	Veorattas	1		
Detaili nr.	Tähis	Nimetus	QTY	Märkus	
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: 2768-mK	Mass: 3.85	Mõõt: 1:3
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Veoratta koost			
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas	Erkki Jõgi				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		www.emu.ee	Leht: 1/1 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 02 K	

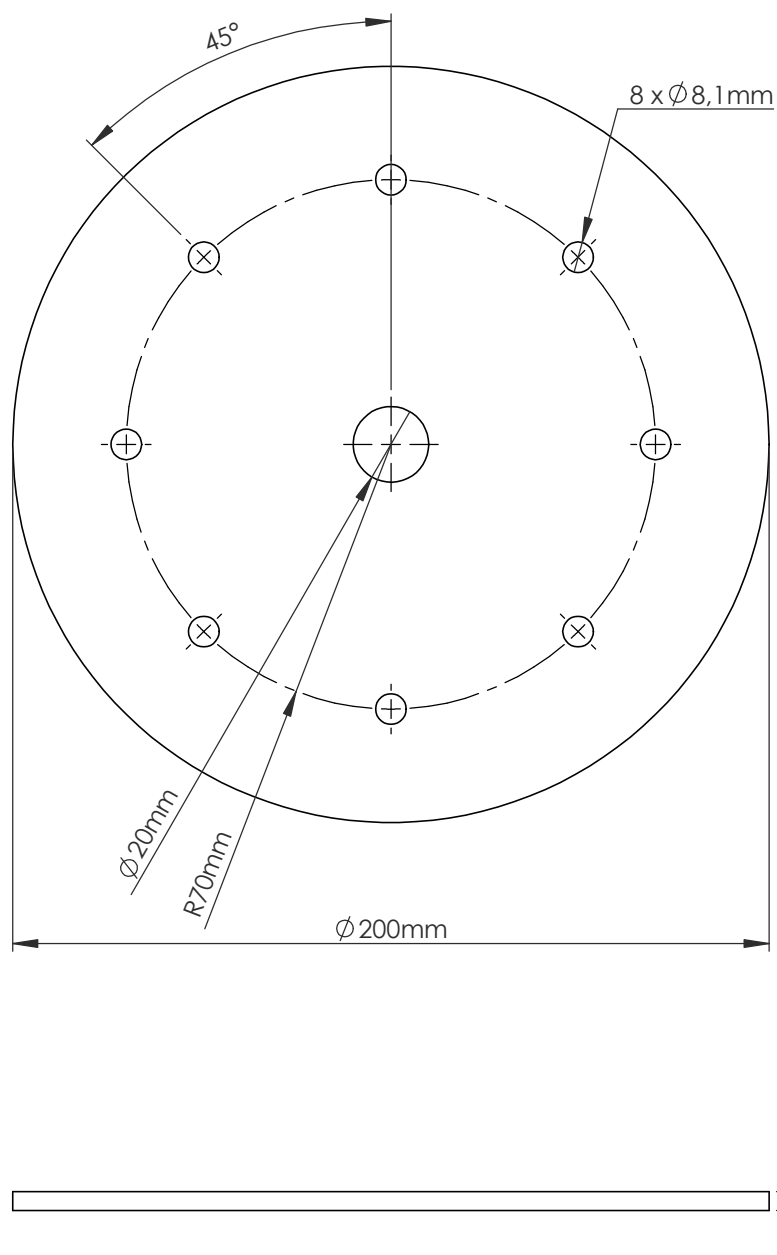


	Materjal: PE100	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 1.98	Mõõt: 1:3
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Veoratas		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 01 00 K	

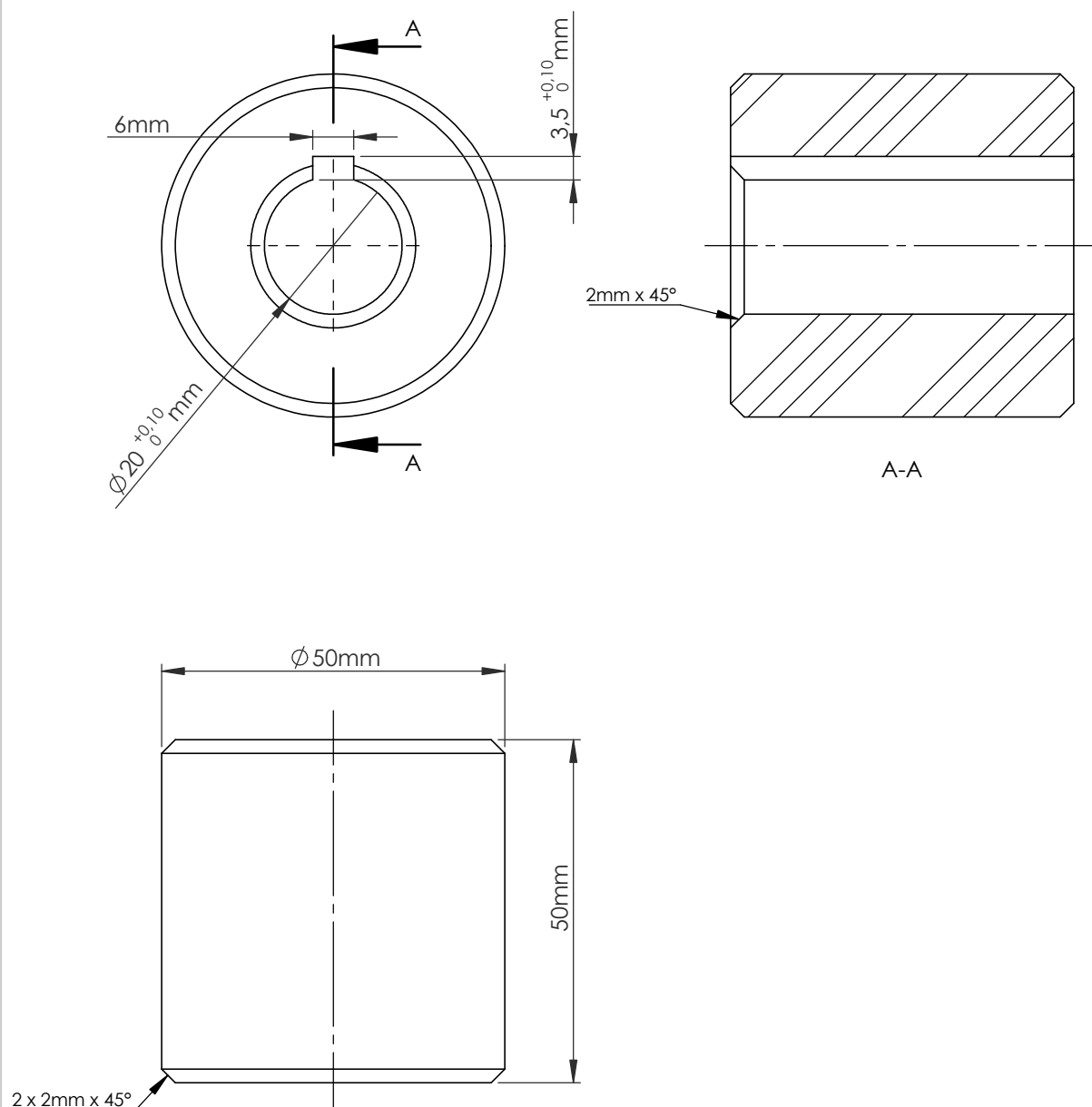


MÕÖT 1 : 3

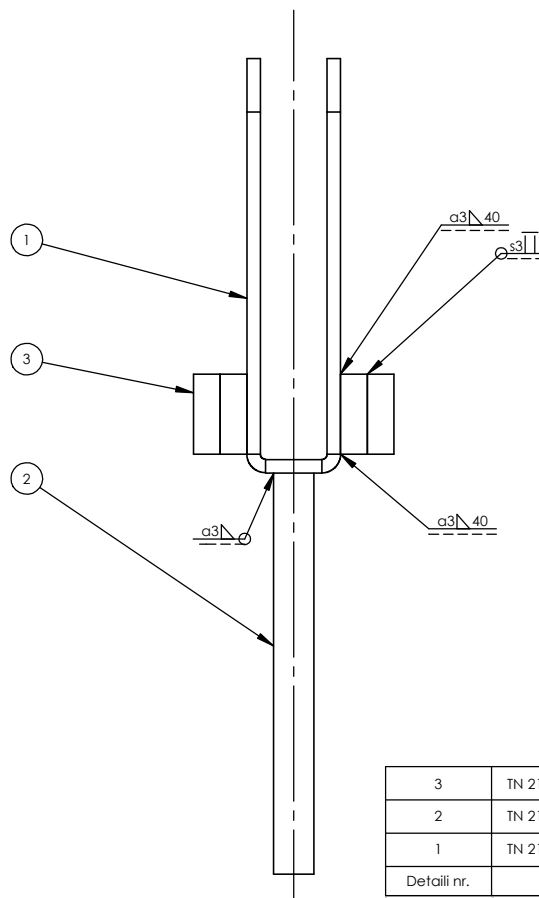
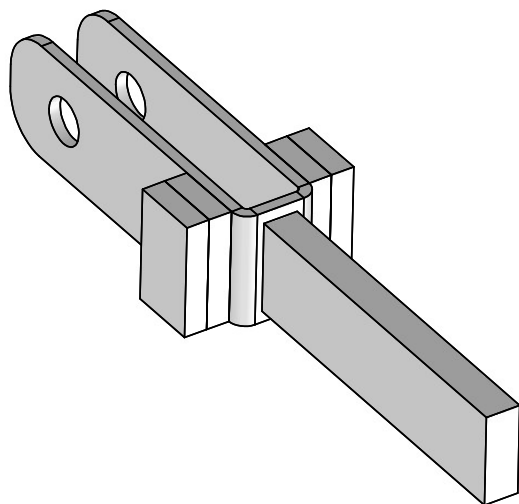
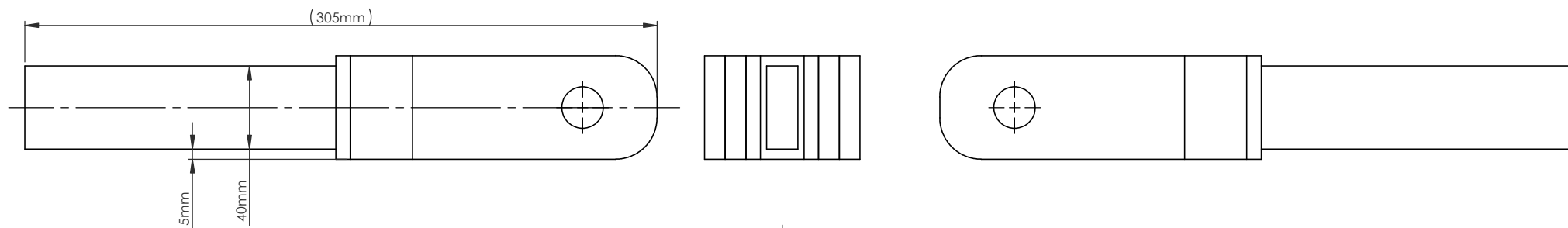
	Materjal:		Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 1.83	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus:	Veoratta keevis		
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas	Erkki Jõgi				
		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 02 10 K		



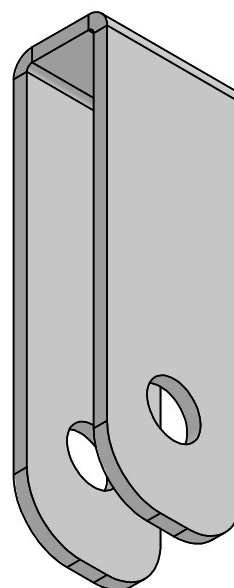
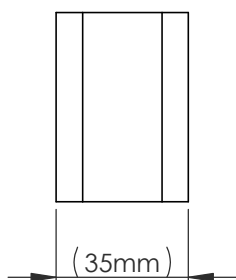
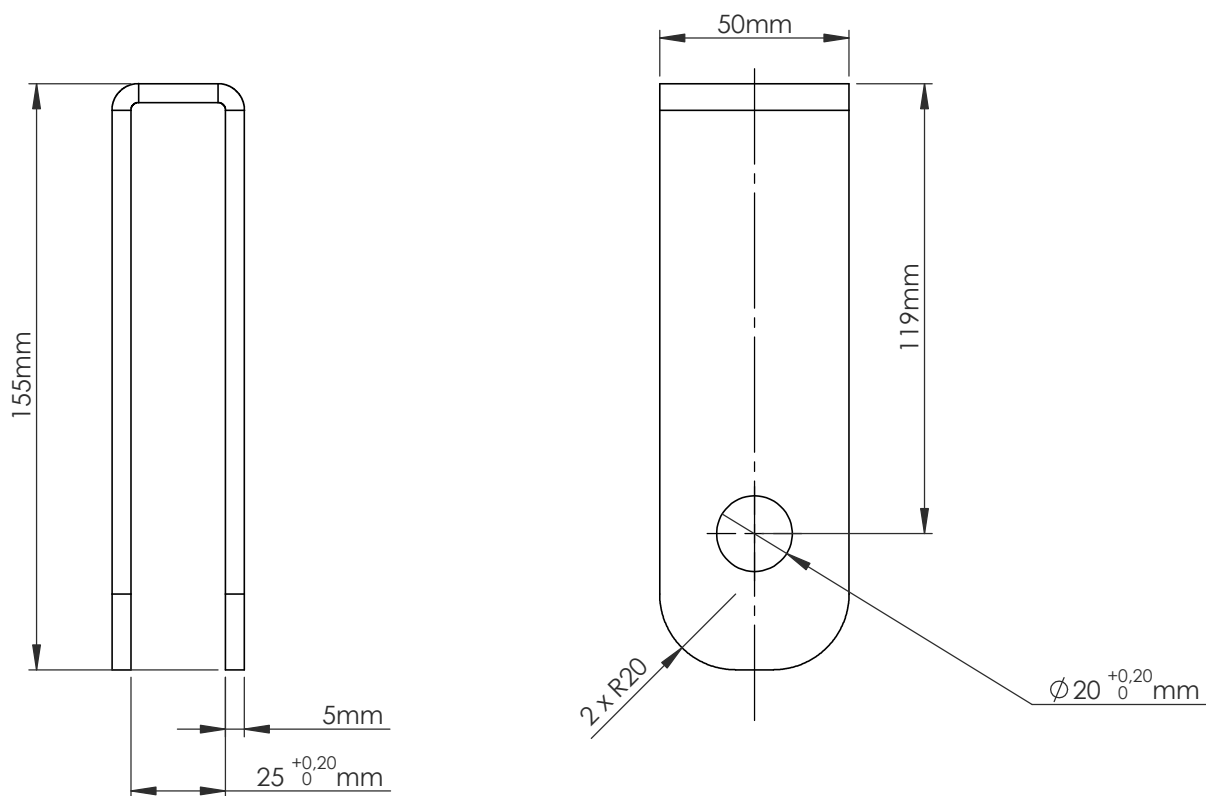
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 1.20	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Detail 2		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 09 D	



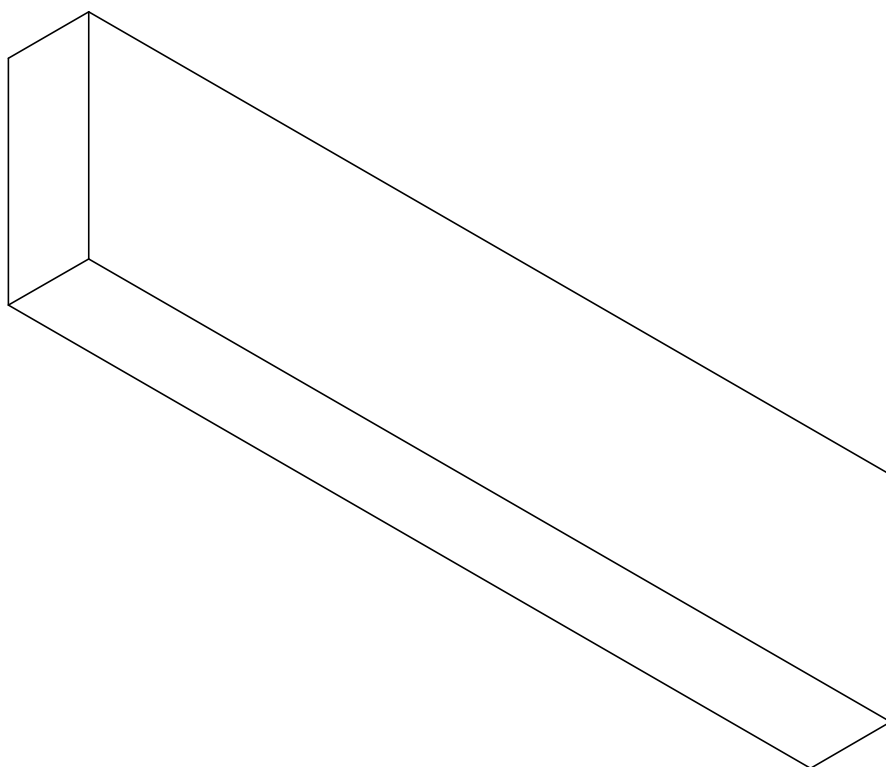
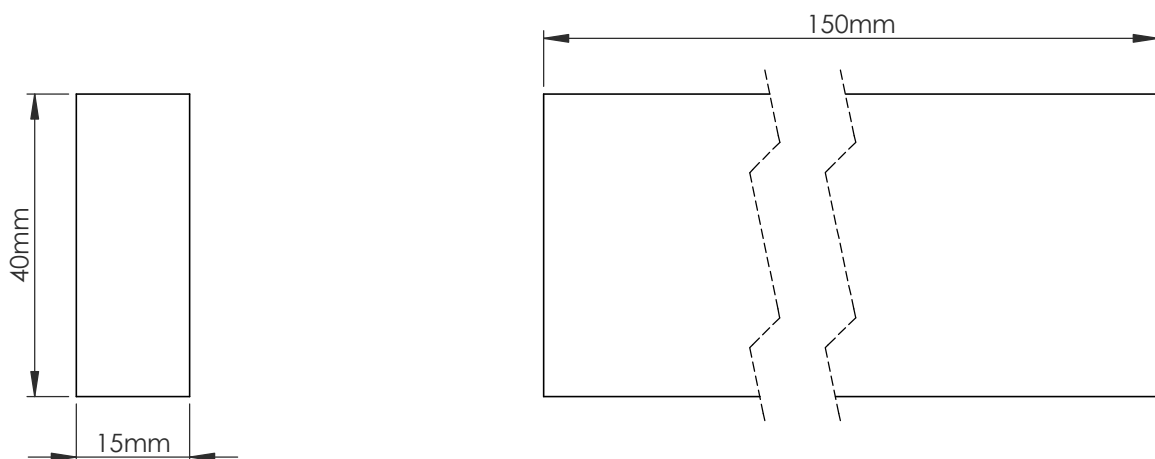
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.63	Mõõt: 1:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Detail 3		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 10 D	



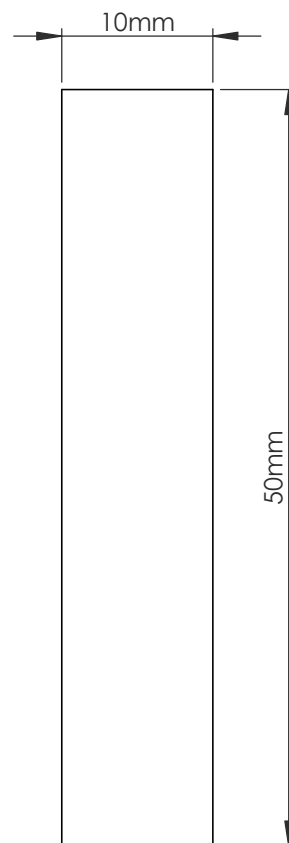
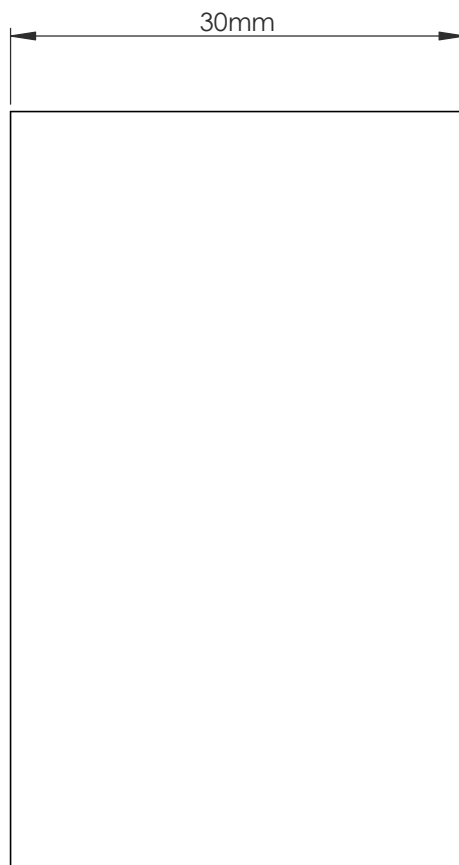
3	TN 21/140440 A 03 06 D	Detail 1	4	
2	TN 21/140440 A 03 04 D	Liugur	1	
1	TN 21/140440 A 03 05 D	Ratta kinnitusplaat	1	
Detaili nr.	Tähis	Nimetus	QTY	Märkus
	Materjal:		Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 1.78
Teostas	Martin Ernits	Pingutussüsteem		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A3	Tähis TN 21/140440 A 03 01 K	



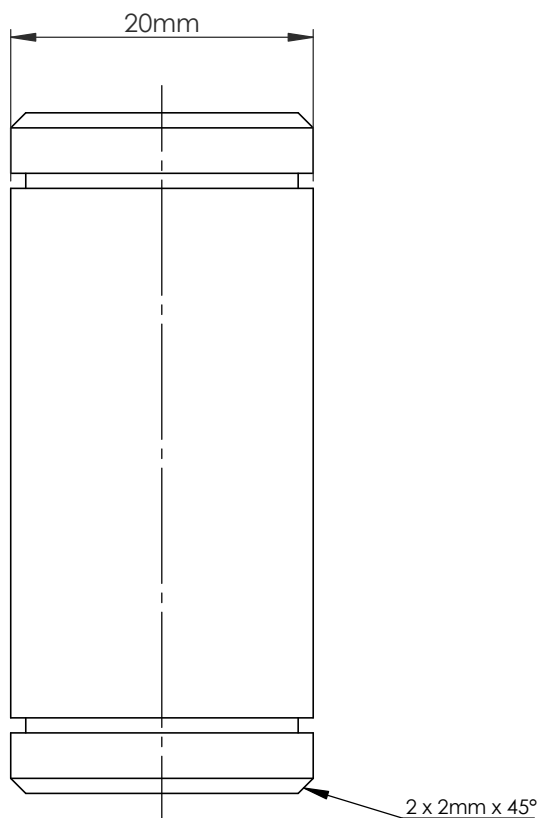
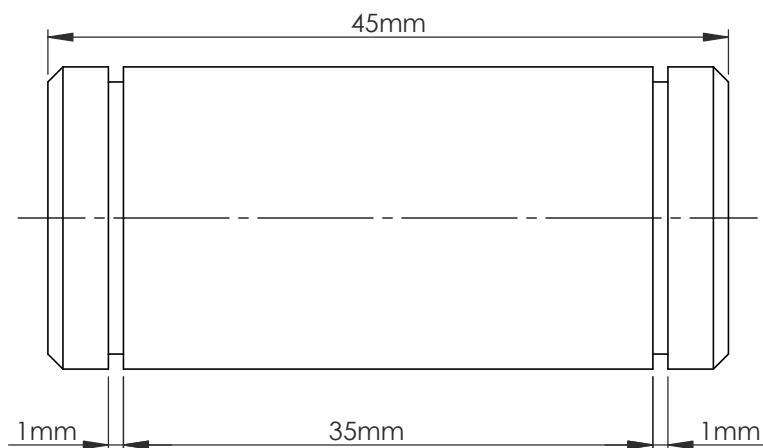
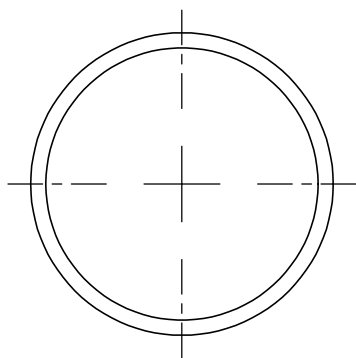
	Materjal: Teras S355		Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.61	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Ratta kinnitusplaat			
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas	Erkki Jõgi				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 01 05 D		



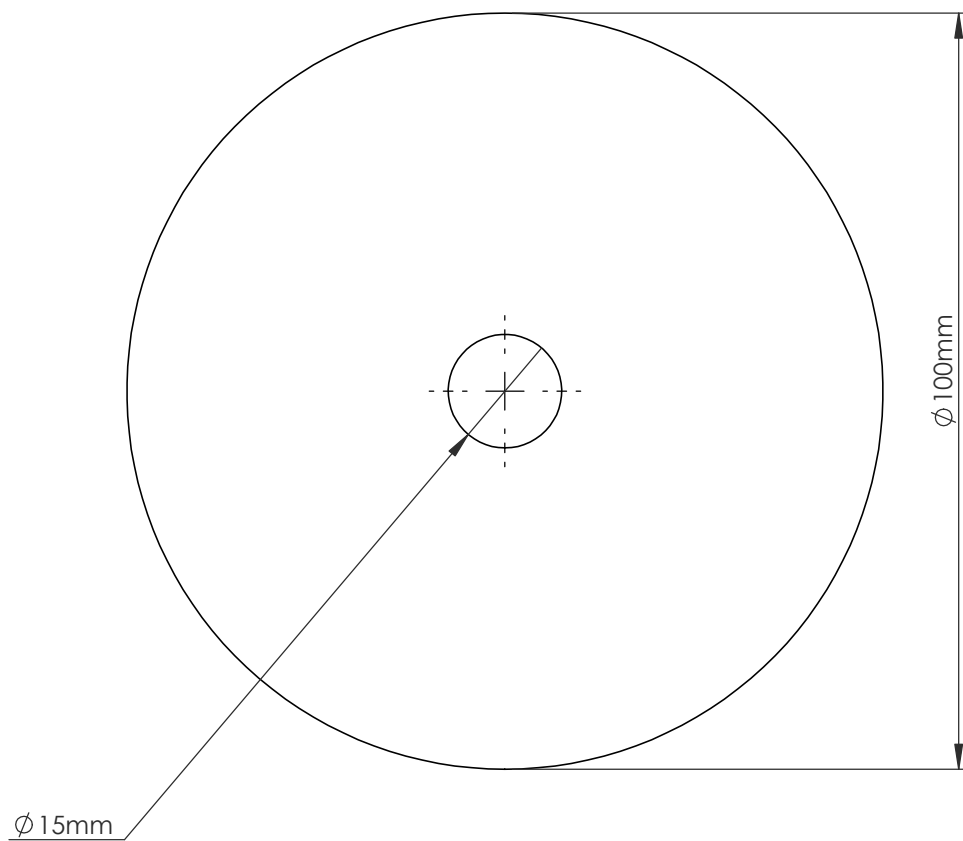
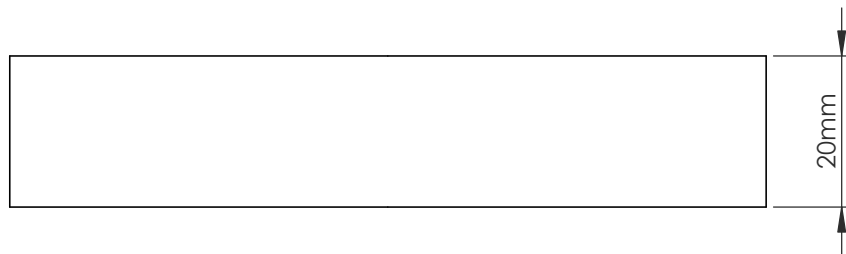
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.70	Mõõt: 1:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Liugur		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 04 D	



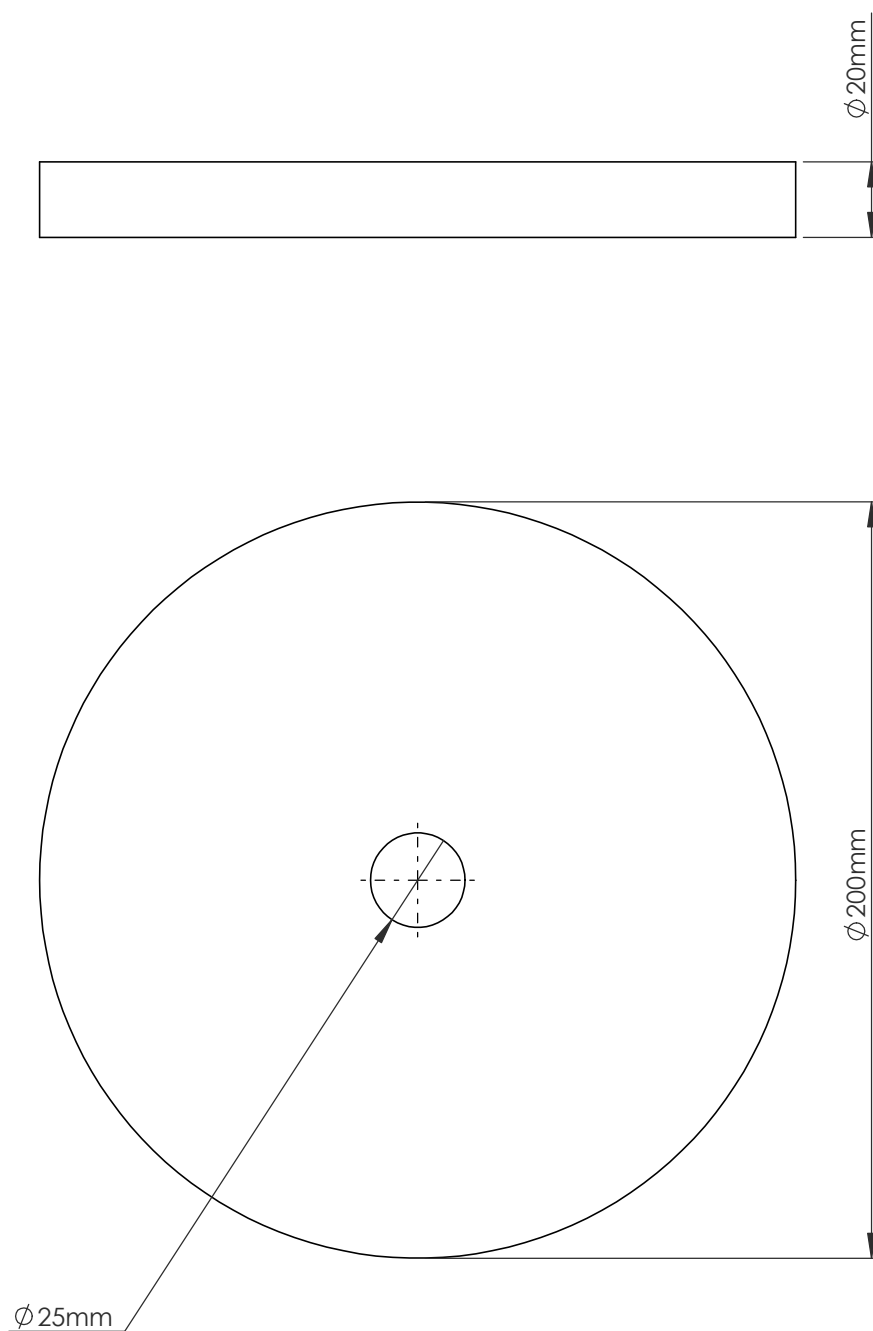
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.12	Mõõt: 2:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Detail 1		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 06 D	



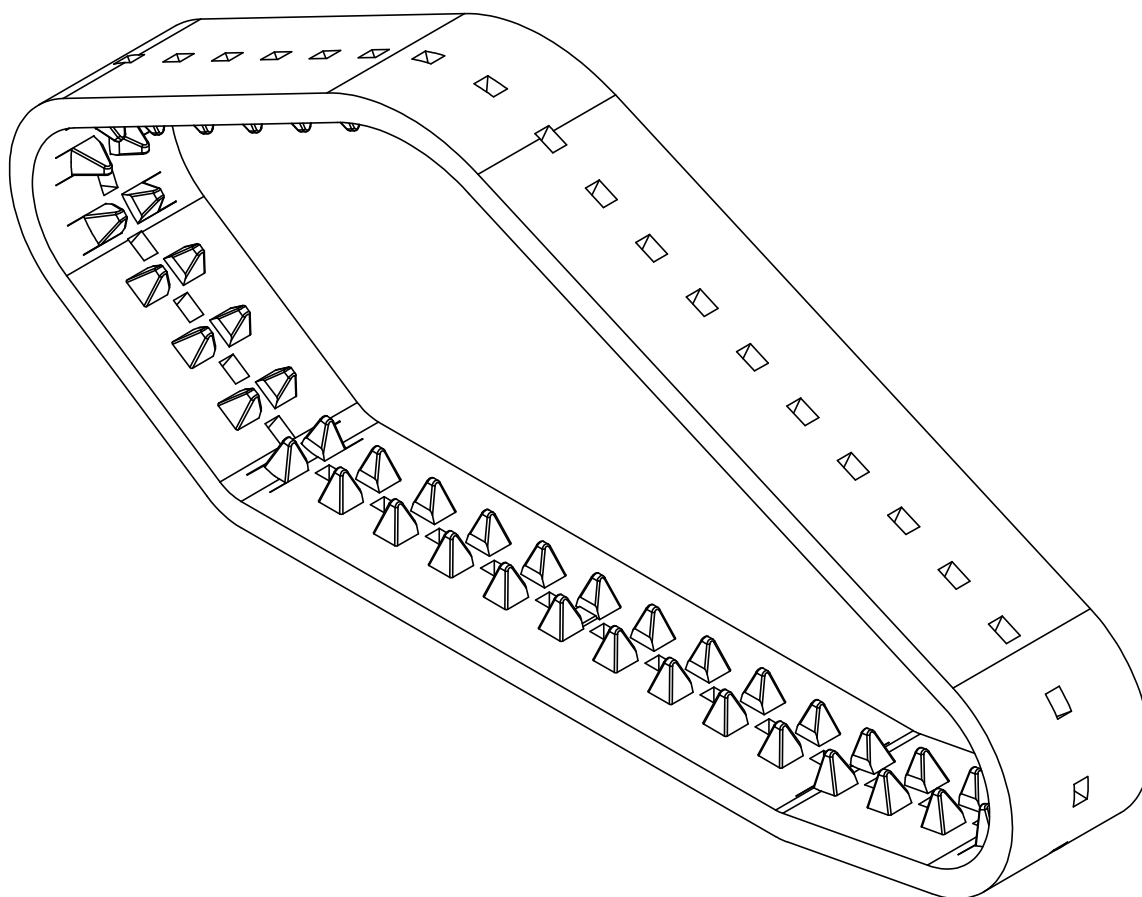
	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.11	Mõõt: 2:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Rattavõll lühem		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool <small>www.emu.ee</small> Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 03 03 D	



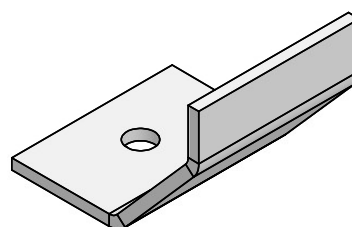
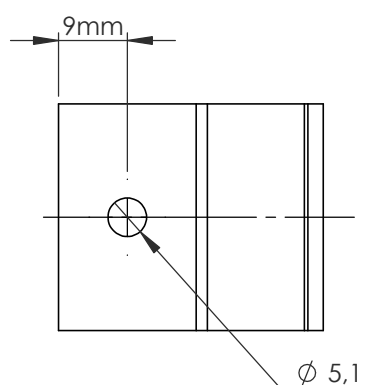
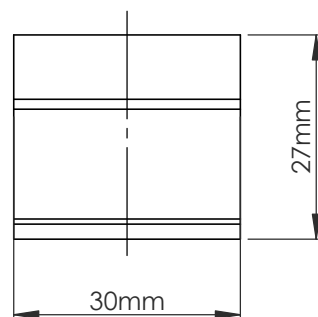
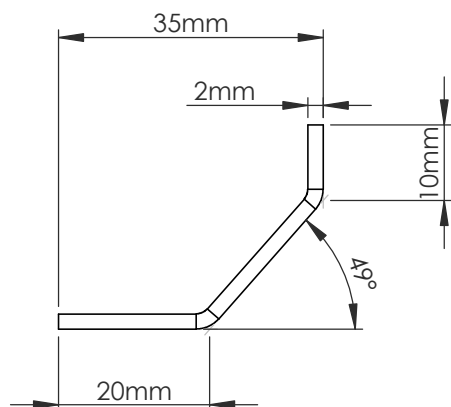
	Materjal:	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.21	Mõõt: 1:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Illusteeriv ratas 100 mm		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis Ratas 100 mm	



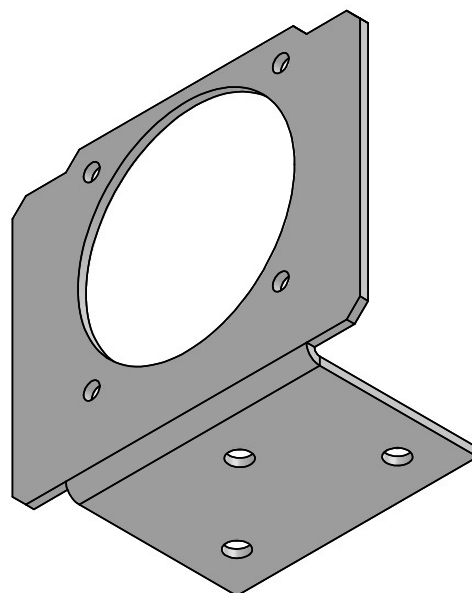
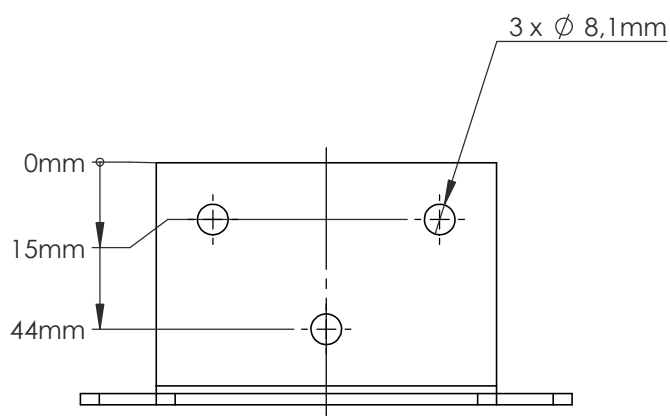
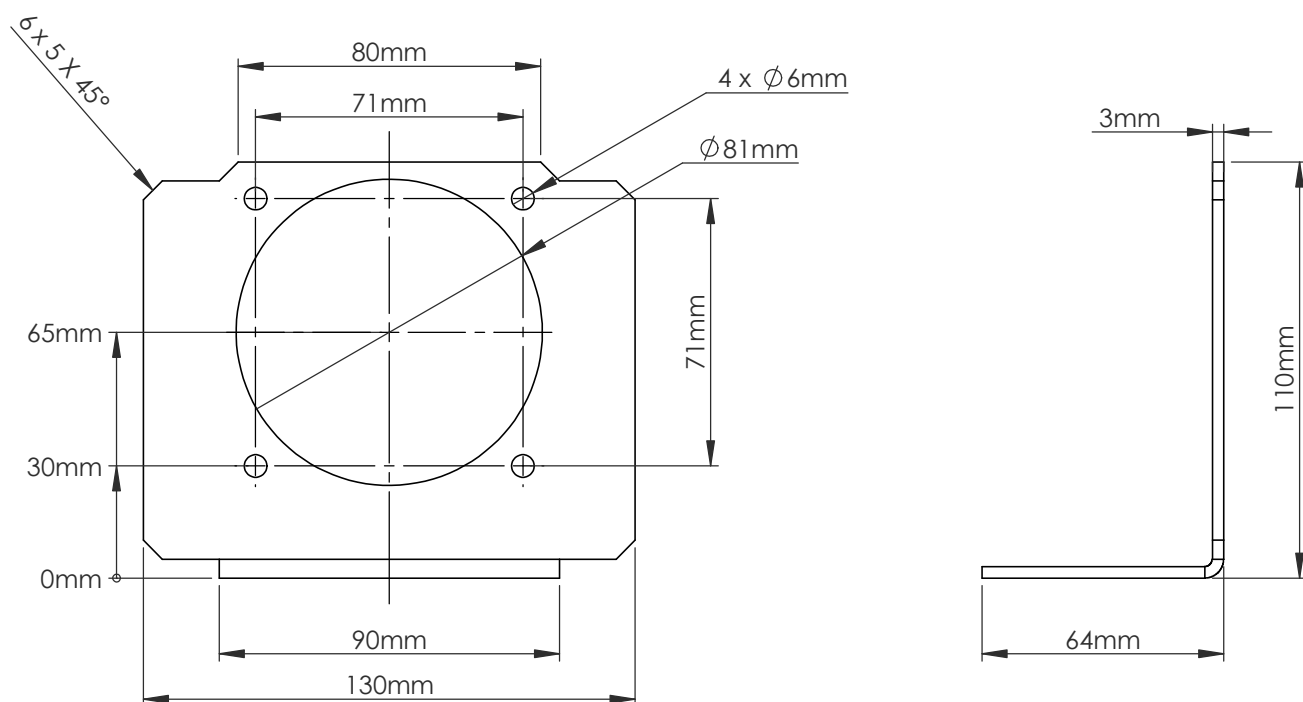
	Materjal:		Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.86	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Illusteeriv ratas 200 mm			
Kontrollis	Erkki Jõgi				
Kinnitas	Erkki Jõgi				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis Ratas 200 mm		



	Materjal: Kumm	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 25.00	Mõõt: 1:7
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: PowerTrack roomik 180x40x72		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 01 00 K	



	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.02	Mõõt: 1:1
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Aku kinnitusplaat		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 01 02 D	



	Materjal: Teras S355	Näitamata piirhálbed: 2768-mK	Mass: 0.32	Mõõt: 1:2
Teostas	Martin Ernits	Nimetus: Mootori kinnitusplaat		
Kontrollis	Erkki Jõgi			
Kinnitas	Erkki Jõgi			
		Leht: 1/1 A4	Tähis TN 21/140440 A 01 01 D	

**LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ SALVESTAMISEKS JA ÜLDSUSELE
KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS NING JUHENDAJA(TE) KINNITUS
LÕPUTÖÖ KAITSMISELE LUBAMISE KOHTA**

Mina, Martin Ernits,
(sünnipäev pp/kuu/aa 04.12.1994)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Väikesemõõdulise mehitamata maismaasõiduki prototüüpimine,

mille juhendaja Msc Erkki Jõgi,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

Allkiri

Tartu, 30.05.2016

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)